



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH PRACOVIŠTĚ PRO OBRÁBĚCÍ APLIKACE S  
ROBOTEM KUKA**

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR ROBOTIC MACHINING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Tomáš Husar**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Aleš Pochylý**

**BRNO 2017**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Tomáš Husar**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty  
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh pracoviště pro obráběcí aplikace s robotem KUKA

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh koncepce pracoviště s průmyslovým robotem pro obráběcí aplikace, resp. odjehlovací aplikace.

### Cíle diplomové práce:

1. Návrh koncepce pracoviště pro zadaný typ obráběcí aplikace.
2. Návrh vhodných přípravků, nástrojů – obráběcích vřeten, případně upínače objektů.
3. Integrace dílčích systémů pracoviště, resp. vytvoření modelu pracovní buňky včetně řešení bezpečnosti.

### Seznam doporučené literatury:

- SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
- PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
- NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0
- MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je návrh konceptu robotického pracoviště pro odjehlovací aplikace. V teoretické části jsou uvedeny základní požadavky na odjehlování pomocí průmyslových robotů. Z několika variant uspořádání robotického pracoviště je vybrána jedna, a ta je realizována. V práci jsou řešeny vhodné způsoby upínání obrobku, výběr nástrojů a bezpečnostní prvky pracoviště. Výstupem je koncepční řešení a vizualizace v podobě 3D modelu.

## **ABSTRACT**

The main object of this master thesis is design of robotic deburring workcell. The thesis informs about basic requests of object deburring using industrial robots. From layout variants, the one most suitable is picked. Chosen variant contains proper clamping solution as well as deburring tool and safety requirements. The concept design of robotic deburring cell in 3D visualization is the result of this diploma thesis.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Robotizované pracoviště, robotické odjehlování, návrh robotického pracoviště

## **KEYWORDS**

Robotic workcell, robotic deburring, robotic cell design



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HUSAR, T. *Návrh pracoviště pro obráběcí aplikace s robotem KUKA*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji Ing. Aleši Pochylému za vedení diplomové práce. A hlavně bych chtěl prostřednictvím těchto pár vět vzdát velké díky své rodině, která mě podporovala ve studiích a umožnila mi získat vysokoškolské vzdělání a užít si studentský život plnými doušky. Děkuji.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Pochylého a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. Května

.....

Bc. Husar Tomáš



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>ROBOTIZOVANÉ PRACOVISTĚ.....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>OBRÁBĚNÍ POMOCÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>ODJEHLUVÁNÍ .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>ROBOTICKÉ ODJEHLUVÁNÍ.....</b>	<b>23</b>
6.1	Průmyslový Robot .....	24
6.2	Vřeteno.....	24
6.3	Poddajnost při odjehlování .....	25
6.3.1	Aktivní silové řízení odjehlování .....	25
6.3.2	Pasivní silové řízení odjehlování .....	26
6.3.3	Axiální poddajnost.....	26
6.3.4	Radiální poddajnost .....	27
6.4	Nástroj.....	27
6.5	Odběr materiálu .....	29
6.6	Metody programování nástroje .....	30
<b>7</b>	<b>OBROBEK.....</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVISTĚ.....</b>	<b>33</b>
8.1	Koncept pracoviště A.....	33
8.2	Koncept pracoviště B.....	34
8.3	Koncept pracoviště C.....	35
8.4	Koncept pracoviště D.....	35
8.5	Výběr vhodné varianty.....	36
<b>9</b>	<b>OTOČNÝ STŮL.....</b>	<b>37</b>
9.1	Otočná jednotka .....	37
9.2	Nosný rám.....	38
9.3	Deska Stolu .....	38
9.4	Upnutí obrobku .....	39
<b>10</b>	<b>VÝBĚR ROBOTU.....</b>	<b>43</b>
10.1	Společnost KUKA robotics .....	43
10.2	KUKA KR 16 .....	43
<b>11</b>	<b>NÁSTROJ .....</b>	<b>45</b>
11.1	Vřeteno.....	45
11.2	Nástroj.....	45
11.3	Výměna nástroje .....	46
<b>12</b>	<b>BEZPEČNOST PRACOVISTĚ.....</b>	<b>47</b>
12.1	Ochranné oplocení .....	47
12.2	Zařízení nouzového zastavení.....	48
12.3	Bezpečnostní tlaková deska .....	48
12.4	Signální věž.....	49
12.5	Hluk .....	49
12.6	Pracovní oblasti.....	50

<b>13</b>	<b>SIMULACE .....</b>	<b>51</b>
13.1	Simulace dosažitelnosti .....	51
13.2	Průběh pracovního cyklu .....	54
<b>14</b>	<b>ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ .....</b>	<b>57</b>
<b>15</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>59</b>
<b>16</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>61</b>
<b>17</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>63</b>
<b>18</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>65</b>
18.1	Seznam tabulek.....	65
18.2	Seznam obrázků.....	66
18.3	Seznam použitých symbolů .....	68
<b>19</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>69</b>

# 1 ÚVOD

V době rostoucí ceny materiálu, práce a energie je snahou zmírnit účinek těchto nákladů na výsledný produkt. Ve výrobním odvětví je proto vhodná investice do robotiky ať už v obráběcích, či jiných aplikacích. Tato investice snižuje náklady, zvyšuje produkci, kvalitu produktů, navyšuje konkurenceschopnost, šetří čas a energii, zkrátka zefektivňuje celý výrobní proces. Navíc pracovní úkon zprostředkovaný pomocí robotu zaručujícího výbornou přesnost a opakovatelnost, dosahuje značně menší chybovosti, nežli by pracovní úkon byl prováděn manuálně.

Vypracovaná diplomová práce se zabývá koncepčním návrhem robotického pracoviště pro odjehlovací aplikaci. Pracoviště bude sloužit k odstranění nálitků a otřepů vzniklých při technologickém procesu výroby součástí. Jako obrobek je zvolena kostra elektromotoru vyráběná z hliníku technologií tlakového lití se studenou komorou. I když je pracoviště koncipováno na jeden určitý výrobek, jeho univerzální povaha dovoluje odjehlování i jiných součástí.

V práci jsou stručně popsány požadavky na robotické odjehlování, vhodný výběr vřetene, nástrojů a metody programování. Dále jsou uvedeny typické varianty uspořádání robotických pracovišť, z nichž je jedna vybrána a realizována jako koncepční návrh.





## 2 MOTIVACE

Tato práce je vypracována ve snaze odprostit člověka od jednotvárných a zdraví škodlivých úkonů, které místo něj zvládnou vykonávat průmyslové roboty, mnohdy v lepší kvalitě. Obráběcí aplikace jsou v podstatě velice hlučné a v závislosti na materiálu obrobku i velice špinavé výrobní praktiky. Vzniká tedy požadavek na automatizaci těchto úkonů takovým způsobem, aby člověk nepřišel do styku s výrobním procesem a mohl se věnovat jiné, potřebnější práci, kde by uplatnil svou nápaditost.

## 3 ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ

Z hlediska základních charakteristických struktur lze robotizované pracoviště popsat jako účelové seskupení průmyslových robotů a manipulátorů a periferních zařízení, které provádí v automatickém cyklu manipulační či technologické operace v příslušném výrobním procesu. Automatický cyklus může být zcela autonomní (bez zásahu člověka), nebo s vloženou manipulační lidskou obsluhou [1].

### Navrhování uskupení robotizovaných pracovišť

Požadavek na optimální řešení robotizovaného pracoviště (dále jen RP), a také začlenění RP do výrobního systému. RP lze rozčlenit na stavebnicové prvky a kombinací možných řešení lze sestavit optimální výrobní systém.

Na základě klasifikačních znaků se rozlišují tyto úrovně stavebnicových struktur (Kolíbal, 2016):

- Robotizovaný modul
- Robotizovaná buňka
- Skupina buněk
- Pružný robotizovaný systém
- Robotizovaná linka
- Robotizovaný provoz
- Robotizovaný závod

Dle tohoto rozdělení se tato diplomová práce bude zabývat sestavením robotizovaného modulu, popřípadě robotizované buňky.

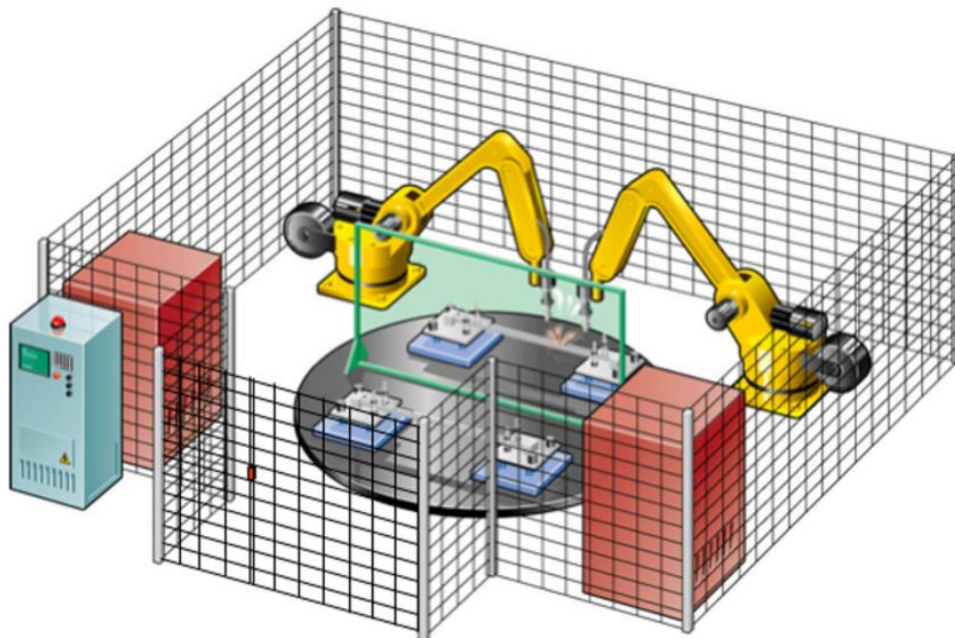
### Robotizovaný modul

Je základní provozní jednotkou, která je schopna vykonávat automatizované funkce samostatně a zároveň je stavebním prvkem pro realizaci vyšších úrovní RP. Robotizovaný modul zajišťuje tři hlavní skupiny operací bez zásahu člověka [1].

- Technologický proces – je prováděn na automatizovaných strojích, nebo je uskutečňován přímo robotem
- Manipulační operace – zajišťuje přísun materiálu a polotovaru k technologické operaci, odebírá součástky z dopravníku nebo zásobníku, zakládá do strojů atd.
- Řídící proces – řízení veškerých funkcí robotizovaného modulu

### **Robotizovaná buňka**

Seskupení robotizovaných modulů, zvýšení počtu technologických pracovišť, výrobních strojů [1].



Obr. 1) Ukázka robotické buňky [5]

## 4 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Pomocí robotu je možno obrábět v pěti osách rozměrné a tvarově složité díly. Z hlediska dosažitelné přesnosti a tuhosti robot nemůže konkurovat víceosým CNC obráběcím centrům, ale může je doplnit nebo zastat tam, kde jejich nasazení není z hlediska ekonomického, či jiného vhodným řešením [2].

Aplikace vhodné pro robotické obrábění:

- Frézování
- Vrtání otvorů
- Sražení hran
- Hrubování
- Odjehlování
- Úprava svarů
- Broušení a leštění

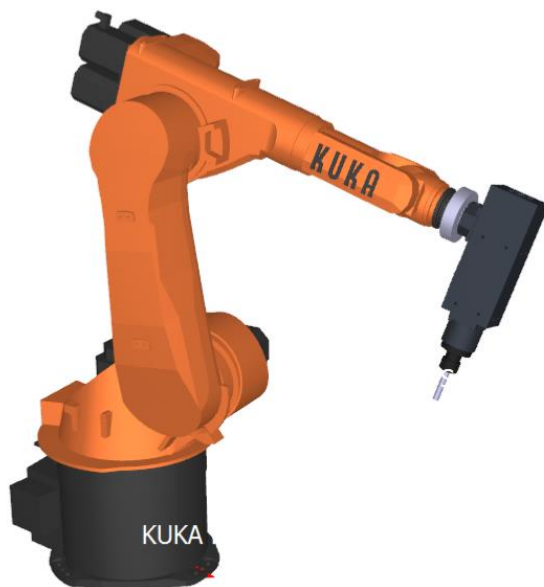
Materiály vhodné pro robotické obrábění:

- Hliník
- Uhlíkové kompozity
- Plasty
- Kámen
- Polystyren
- Dřevo
- V omezené míře i ocel

Výhody robotického obrábění:

- Volnost pohybu (obrábění z pěti stran na jedno upnutí obrobku)
- Přemístitelnost robotu
- Provoz v nepříznivém prostředí (prašné, hlučné, radioaktivní, ...)

K dosažení kvalitní a dlouhodobě uspokojivé výroby v obrábění pomocí robotu záleží z velké části na správném výběru robotu. Při použití robota s nižší nosností lze s dobrými výsledky obrábět měkké materiály, ale u obrábění silnějších částí obrobku nebo tvrdších materiálů dochází k chvění ramene robotu, což má za následek nežádoucí nepřesnosti. V takovém případě je zapotřebí zvolit robot s vyšší nosností, jenž disponuje vyšší tuhostí konstrukce. Řada předních výrobců průmyslových robotů nabízí ve svém portfoliu speciálně upravené roboty určené výhradně pro obráběcí aplikace [3].



Obr. 2) Robot KUKA KR30 s vysokootáčkovým vřetenem

## 5 ODJEHLOVÁNÍ

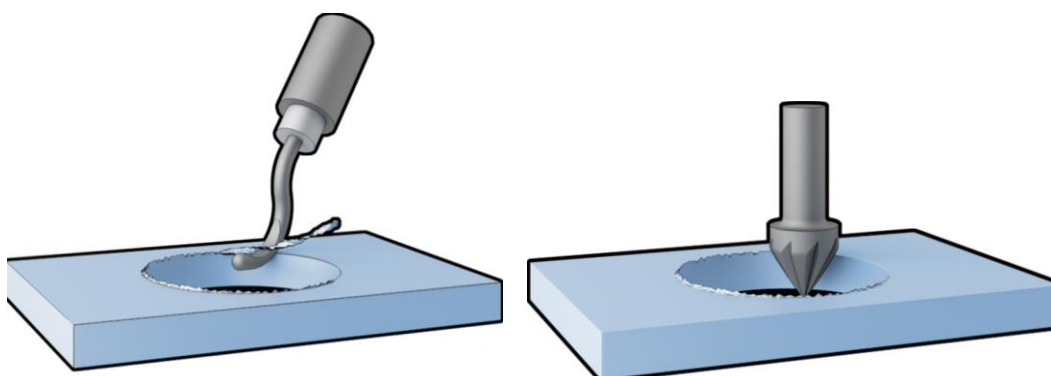
Operace odjehlování slouží k odstranění otřepů na obrobcích. Otřepy vznikají při provádění technologických operací např.: odlévání materiálu, kování, svařování, pokovování, nanášení barev a obrábění. Otřepy mohou ovlivňovat montážní operace, které následují po těch výrobních. Ostré hrany otřepů mohou být nebezpečné pro operátory manipulující s obrobkem. Navíc, výskyt otřepů na strojních součástech, působí dojem nedokončené a odbyté práce.

Ideálním řešením je, aby výskyt otřepů byl minimální, nebo ještě lépe, aby se otřepy vůbec nevytvářely. To lze docílit perfektním zvládnutím výrobní technologie, jenž může být velice finančně nákladné. Pokud není možné zabránit vzniku otřepů, je vhodné alespoň kontrolovat proces jejich vytváření a příslušnou metodou je odstranit. Obecně, manuální odjehlování prováděné pracovníkem je ve výsledku nepřesné a časově náročné, proto je vhodné tento proces automatizovat, a robotizovaná automatizace se v dnešní době jeví jako ideální řešení.

Mezi základní manuální odjehlovací nástroje patří ruční odjehlovací nůž s výměnnými břity. Ten najde uplatnění spíše v kusové nebo prototypové výrobě. Daleko účinnějším nástrojem jsou pneumatické ruční frézy Obr.3.



Obr. 3) Pneumaticky poháněné ruční odjehlovací nástroje [6]



Obr. 4) Příklad použití ručních odjehlovacích nástrojů [7]



## 6 ROBOTICKÉ ODJEHLOVÁNÍ

Automatizovaná robotizace procesu odjehlování otřepů a dělicích rovin se skládá z robotu, nástroje a periferního vybavení. Nejdůležitějším periferním vybavením je zařízení pro správnou fixaci součástí k opracování, tak aby došlo k vymezení vůlí při upnutí. Toto zařízení může být jednoduchý upínací stůl, otočný krokový stůl, sofistikovaný koncový efektor v závislosti na geometrii dílce a jiné. Pokud by se jednalo o příliš rozměrný dílec, jehož rozměry přesahují pracovní prostor robotu, je vhodné vybavit průmyslový robot pojezdem pro rozšíření jeho působnosti v prostoru. Dalším důležitým prvkem je vhodně zvolený nástroj pro úspěšné zvládnutí daného úkolu. Primárně je požadováno sestavit pracoviště s nízkými provozními náklady, avšak nesmí být opomenuty požadavky na dodržení produkce, bezpečnosti a krátkých pracovních časů [4].

Proces robotického odjehlování je poměrně obtížná záležitost, a není snadné získat ucelenou literaturu zahrnující potřebné informace. Obecně je know-how automatizace odjehlování v rukou firem, nebo odborníků.



Obr. 5) Ukázka firmy SCHUNK odjehlovací aplikace pomocí průmyslového robotu. 1 -pneumatické vřeteno, 2 -připojovací příruba, 3 -upínací prvek [8]

## 6.1 Průmyslový Robot

Jak již bylo krátce popsáno výše v kapitole 4. robot se při odjehlování nachází v přímém kontaktu s obrobkem, a proto musí snášet reakce od působících sil a momentů a ustát nežádoucí vibrace. Obecně platí, že pro obráběcí procesy je vhodný statnější robot s dostatečnou tuhostí. Nesmí být opomenut ani stupeň krytí, který zabraňuje vniknutí špon, třísek a prachu do vnitřní konstrukce robotu. Důležitá je také dobrá manévrovatelnost a dosah robotu v prostoru s dodržením přesnosti a opakovatelnosti polohy.

## 6.2 Vřeteno

Vřetena pro odjehlovací aplikace můžeme dělit dle rychlosti otáčení na [9]:

- Vysokootáčková (více jak 15 000 ot/min)
- Střední rychlosti (10 000 až 15 000 ot/min)
- Pomaluběžná (500 až 1500 ot/min)

**Vysokootáčková** vřetena se hodí na odstraňování větších a silnějších otřepů např.: pomocí stopkové frézy, **středně rychlá** vřetena operují s nástrojem nejčastěji ve tvaru kartáče, nebo brusného kotouče, a **pomaluběžná** najdou uplatnění při odjehlování otvorů po vrtání a vyvrtávání [9].

Dále lze vřetena dělit podle pohonu na **pneumatická** (Obr.6), která v aplikacích odjehlování najdeme nejčastěji, nebo **elektrická**. Pneumatická vřetena jsou relativně levná, spolehlivá a vykazují výborný poměr vysokého zatížení k poměrně nízké hmotnosti. Výkon těchto vřeten se pohybuje v rozmezí od 100 W do 1,5 kW [9].

Vřetena se uchycují k robotu axiálně nebo radiálně, stejně tak lze uchytit i stacionerně upevněná vřetena na podstavci.



Obr. 6) Pneumaticky poháněné vřeteno. 1- pneumatické vřeteno; 2- vyvažovací poddajné válce; 3- ložisko; 4,5- přívody vzduchu [8]



### 6.3 Poddajnost při odjehlování

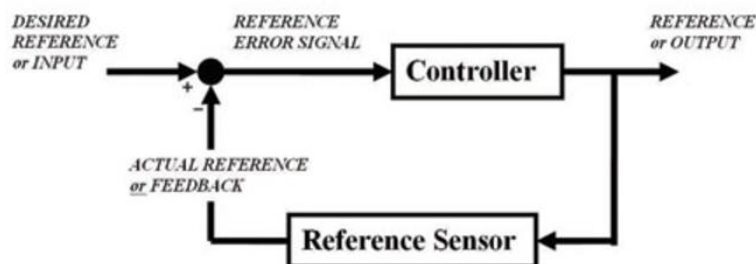
Důležitým požadavkem je compliance robotu a vřeten, jinými slovy se jedná o jejich poddajnost. Rozumíme tím přizpůsobit se rozličným tvarům obráběného povrchu. Kontrolou působící silové složky při obrábění lze zjednodušit soustavu pouze na dvě proměnné, a to posuv a rychlost, tedy veličiny, které jsou dobře popsány a snadno dostupné. Robot se tak snadno přizpůsobí a může kopírovat povrch obrobku, aniž by se muselo zadávat velké množství bodů k dosažení požadované trasy. Značně se tak redukuje nežádoucí najetí nástroje do materiálu, nebo naopak ztráta kontaktu a tzv. „odjehlování na prázdno“ [10].

Poddajnosti lze dosáhnout různými metodami, které zahrnují systémy s aktivním a pasivním silovým řízením. Aktivní systém potřebuje propojení informací z procesu obrábění s řízením průmyslového robotu. Toho je dosaženo pomocí akcelerometrů, momentových a silových senzorů, nebo výstupních momentů na servomotorech. Tyto systémy vykazují opakovatelnost, přesnost a flexibilitu. Nevýhodou je příliš vysoká pořizovací cena [10, 11].

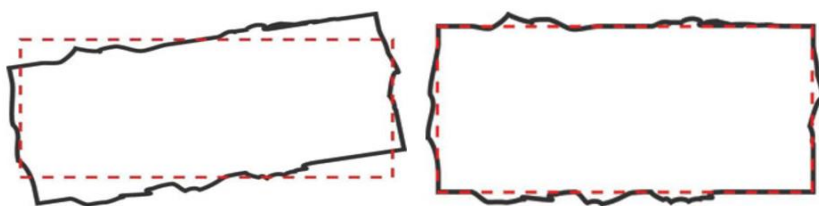
Naopak pasivní systémy nemají zpětnou vazbu s řídicím systémem, takže robot a nástroj operují nezávisle na sobě. Tyto systémy jsou řešeny mechanicky pomocí pružiny nebo protiváhy, pneumaticky, hydraulicky pomocí válců a vaků, nebo elektrickými aktuátory. Nedosahují takové opakovatelnosti a přesnosti jako aktivní systémy, ale jsou ve srovnání podstatně levnější a hodí se především pro hrubé odjehlování povrchů nezatížených rozměrovou tolerancí [10, 11].

#### 6.3.1 Aktivní silové řízení odjehlování

Systémy s aktivním silovým řízením pracují s výstupní řeznou silou a podle toho se upravuje trajektorie robotu, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku. Zavedení této metody předchází testování, které zkoumá požadovanou řeznou sílu. Jakmile je síla stanovena na konstantní hodnotu, systém sám dokáže vyhodnocovat odchylku a přizpůsobovat se podmínkám. Na obrázku 7 je naznačen princip této metody. K dosažení funkčnosti a opakovatelnosti, je nutno upínat obrobky ve stejné poloze (Obr. 8). Robot tak lépe dokáže rozlišit chtěný materiál od materiálu nechtěného [10, 11].



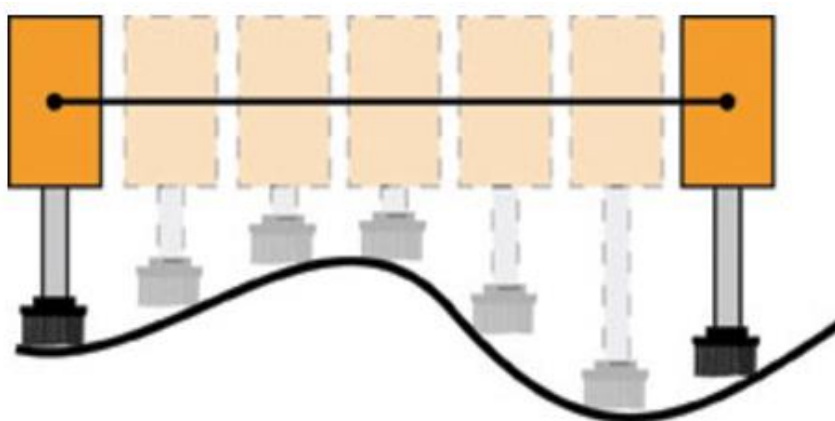
Obr. 7) Princip aktivního řízení odjehlování [10]



Obr. 8) Správná fixace obrobku [10]

### 6.3.2 Pasivní silové řízení odjehlování

Tento systém nevyhodnocuje síly vyskytující se v pracovním procesu, ale jednoduše se přizpůsobují povrchu obrobku (Obr. 9). Robot se tedy pohybuje nezávisle na poddajném nástroji, který konstantní silou udržuje kontakt s povrchem obrobku. V praxi lze nalézt systémy fungující na principu protiváhy k udržení kontaktu nástroje s obrobkem, jsou však limitovány pouze k realizaci stacionárně upevněného nástroje. Nejčastěji se vyskytují pneumatické poddajné systémy, které v nejjednodušším případě kontrolují přítlakovou sílu pomocí pneumatického pístu. Jsou snadno nastavitelné pomocí regulátoru tlaku. Nejsou postihovány inerciální zátěží jako systémy protiváhy, proto je lze realizovat jako stacionární připevněné k zemi, nebo jako koncový efektor robotu [10, 11].

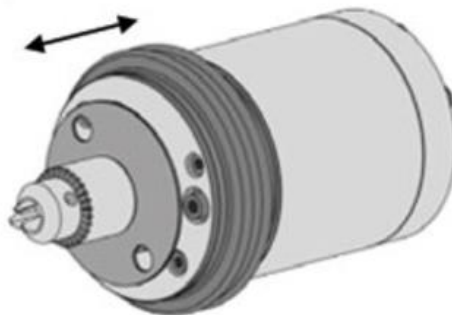


Obr. 9) Pasivní silové řízení s axiální poddajností [10]

V následujících kapitolách je stručně popsána pasivní poddajnost pneumatických vřeten.

### 6.3.3 Axiální poddajnost

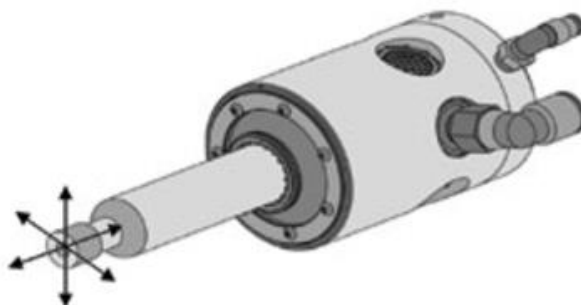
Nazývá se také lineární, je schopnost vřetene vychýlit se podél jedné osy (zpravidla osa nástroje) s konstantní kontaktní silou kontrolovanou pneumatickým zařízením Obr.10. Obvyklým nástrojem je kartáč, nebo brusný kotouč. Využívá se při odjehlení velkých ploch, nebo při odjehlení děr [10].



Obr. 10) Axiální poddajnost vřetene [10]

#### 6.3.4 Radiální poddajnost

Tato poddajnost umožňuje naklonění z centrální pozice v rozsahu  $360^\circ$  po obvodu takovou silou, aby byl zaručen kontakt nástroje s obráběným povrchem. Pneumaticky poháněná vřetena vykazují přitlačnou sílu v rozmezí od 10 N do 50 N. Jakmile dojde ke ztrátě silového působení, nástroj se vrátí zpátky do centrální polohy pomocí malých pístků. Tyto vřetena jsou ideální pro radiální kartáče, či brusné kotouče, a především stopkové frézy [10].



Obr. 11) Radiálně poddajné vřeteno [10]

### 6.4 Nástroj

Nejrozšířenějším robotickým odjehlovacím nástrojem jsou stopkové frézy. Jsou vyráběny z různých materiálů a rozličných tvarů (Obr. 13). Správný výběr těchto nástrojů závisí na materiálu a velikosti otřepů. Dalšími velmi používanými nástroji jsou brusné kotouče. Pro odjehlování otvorů se využívají speciální nástroje se zatahovacím břitem, který se schová do jeho těla (Obr. 14) [13, 15].

Stopkové frézy s použitím radiální poddajnosti jsou vhodné k odstranění nálitků a materiálu na dělicích rovinách. Jejich tvar jim dovoluje dosáhnout i těžce přístupná místa. Pro odjehlování hliníku jsou podle počtu zubů nejpopulárnější dvouzubé a diamantové frézy, které zanechávají hladký povrch po odjehlení, to díky odběru menších třísek (Obr. 12). Stopkové frézy se nejčastěji vyrábějí v těchto rozměrech [13, 14].

- 6 mm (1/4")

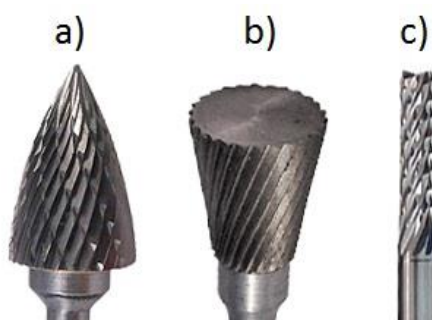
#### Doporučené otáčky (ot/min):

- 25 000 – 35 000
- 17 000 – 26 000
- 17 000 – 26 000
- 11 000 – 16 500

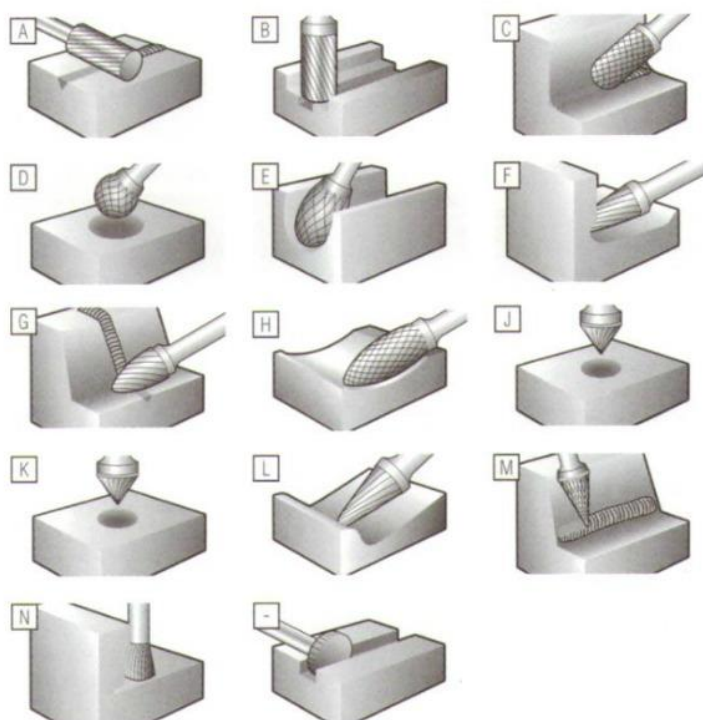
#### Rozměry stopek fréz:

- 1,6 mm (1/16")
- 2,35 mm (3/32")
- 3 mm (1/8")

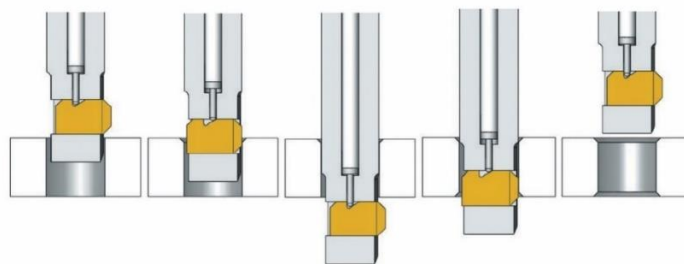
Snahou je minimalizovat počet potřebných nástrojů, a nalézt univerzální nástroj, který zastane požadované funkce. Výběr vhodného tvaru nástroje je mnohdy obtížné a k jeho nalezení je zapotřebí absolvování výběrové metody pokus-omyl.



Obr. 12) Rozdělení fréz dle počtu zubů: a) dvouzubé; b) jednozubé; c) diamantové [13]



Obr. 13) Tvary fréz pro různá použití [14]



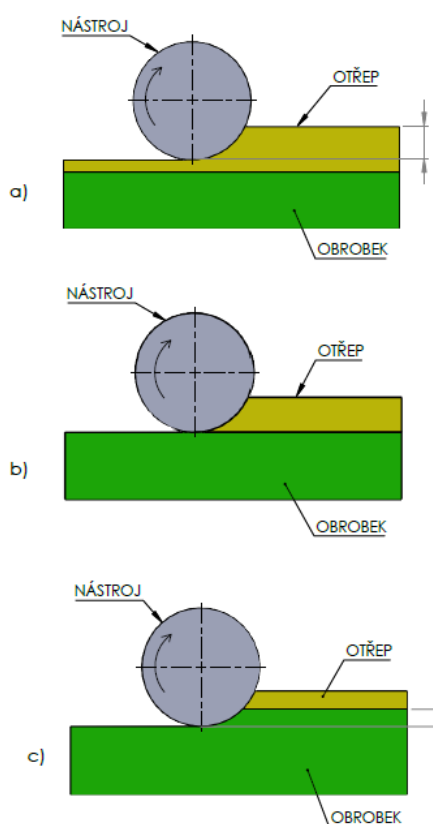
Obr. 14) Odjehlování a zahloubení děr po vrtání [15]

## 6.5 Odběr materiálu

Správným výběrem nástroje a jeho poddajnosti lze docílit ideálního odběru nežádoucího materiálu, znázorněno na Obr. 15 b). V opačném případě, při volbě nesprávného nástroje a jeho poddajnosti, může dojít jen k částečnému odstranění ořepu, nebo naopak dochází k nežádoucímu nadměrnému odběru materiálu z obrobku (Obr.15 a, c) [11, 16].

Podmínky robotického odjehlování:

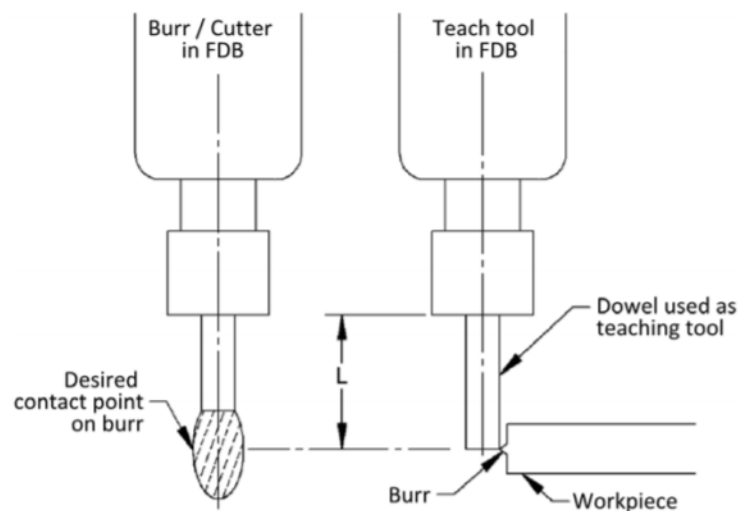
- Řezná rychlost až 1300 m/s
- Rychlost posuvu až 4500 mm/min pro tvrdé materiály
- Rychlost posuvu až 10 000 mm/min pro měkké materiály



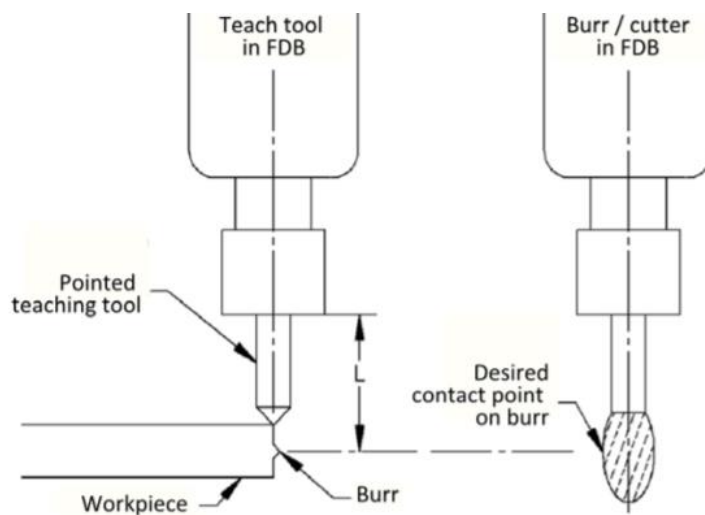
Obr. 15) Odběr materiálu: a) částečný; b) ideální; c) nadměrný

## 6.6 Metody programování nástroje

Při použití stopkového nástroje se velmi často uplatňují dvě metody programování robotu s radiálně poddajným pneumatickým vřetenem. Podmínkou je vypnutý pohon vřetene, ale musí být zapnuta dodávka vzduchu do systému s poddajností. První metodou je programování pomocí kolíku jako učícího nástroje (Obr. 16). Kolík musí být stejného rozměru jako stopka nástroje, a nesmí se překročit povolená compliance vřetene. Druhá metoda využívá hrotový kolík jako výukový nástroj, který kopíruje hranu obrobku (Obr. 17). Úspěšnost této metody závisí na šikovnosti programátora [17].



Obr. 16) Programování pomocí modelového kolíku [17]



Obr. 17) Programování pomocí hrotu [17]

## 7 OBROBEK

Robotizované pracoviště je určeno pro odjehlení hliníkové kostry statoru (OBR.18). Rozměry těchto koster se udávají dle osové výšky, a to v rozmezích od 56 mm do 160 mm (liší se dle výrobce). Pro mou aplikaci je zvolen patkopřírubový hliníkový rám elektromotoru s osovou výškou 132 mm. Další specifikace objektu jsou uvedeny níže.

Parametry statorové kostry:

- Materiál: Hliník
- Osová výška = 132 mm
- Rozměry = 258x260x262 mm
- Hmotnost = 7 kg

Tato diplomová práce není zadána pod záštitou žádné firmy, jedná se o školní téma, a proto návrh pracoviště slouží spíše jako příklad, jak lze řešit odjehlovací aplikaci prostřednictvím robotizovaného pracoviště. Statorová kostra elektromotoru se jeví jako objekt s velkým potenciálem pro uskutečnění robotizované výroby. Například odštěpný závod firmy SIEMENS na elektromotory v Mohelnici ročně vykazuje výrobu zhruba 1 200 000 kusů elektromotorů. Z tohoto počtu je téměř 90 % 3-fázových elektromotorů s hliníkovým provedením statorového rámu, jenž v číslech značí stále okolo jednoho milionu kusů za rok. Motory jsou nabízeny v různých provedeních a osových výškách v desíti variantách odstupňovaných v rozmezí od 56 mm do 160 mm. Dle základních přepočtů tak vychází na jeden rozměr osové výšky produkce něco přes 100 000 kusů ročně. A pokud toto číslo rozdělíme z hlediska provedení elektromotoru (přírubový, patkopřírubový, patkový) vychází nám 33 000 kusů elektromotorů daného typu jako roční produkce. Z tohoto lze jasně usoudit, že pro zavedení robotizované výroby se nabízí velký potenciál [18, 19].

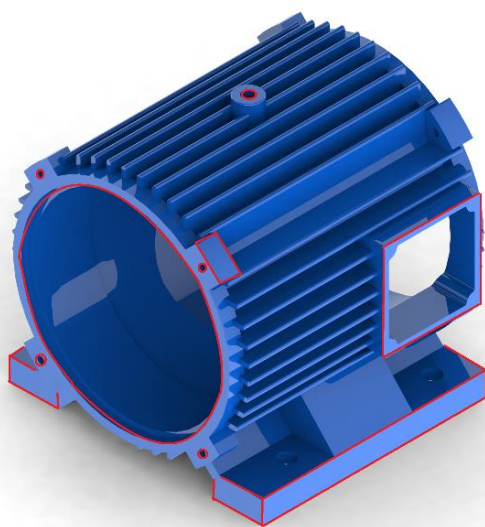
Pro účely diplomové práce bude použit model (Obr. 18), který se podobá standartním patkopřírubovým elektromotorům tradičních výrobců. Model slouží pouze jako demonstrační příklad pro potřeby realizace návrhu robotizovaného pracoviště.



Obr. 18) Model statorové kostry

## Úprava povrchu

Hliníkové kostry elektromotorů jsou vyráběny metodou tlakového lití se studenou komorou. Po vyjmutí odlitku z lící komory a zchlazení a zpracování, je potřeba odstranit nálitky a jiné vady. Míra výskytu nálitků a otřepů se liší z hlediska kvality provedení výrobní technologie, což zvyšuje obtížnost provedení dokončovací operace. V případě naší odjehlovací operace budeme předpokládat, že je zapotřebí upravit povrch obrobku ze všech stran. Základní plochy, které je třeba obrobřit jsou zobrazeny na Obr.19. Jedná se o čelní a zadní plochu, patky a díry v patkách, prostor pro svorkovnici, dělicí roviny atd. Pracoviště tedy bude koncipováno tak, aby měl robot dobrý přístup k obrobku nejlépe z 5-ti stran.

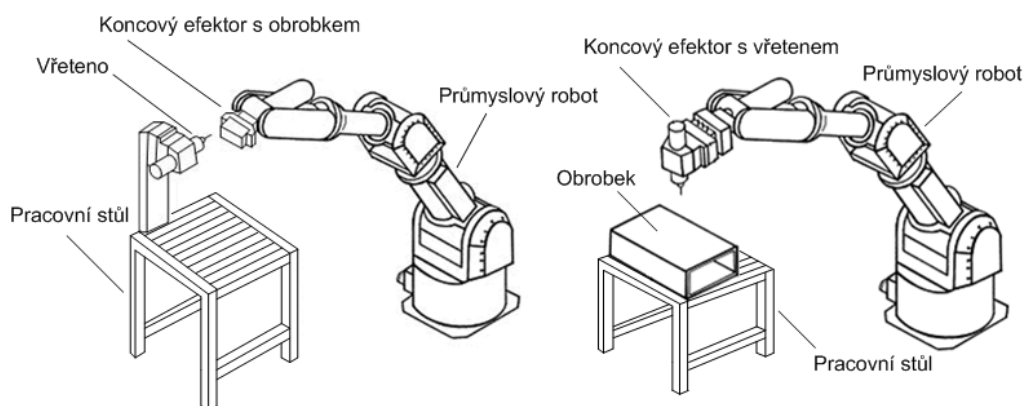


Obr. 19) Plochy nutné k odjehlení



## 8 NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ

Robotizované pracoviště s ohledem na soustavu ROBOT-NÁSTROJ-OBROBEK, lze realizovat dvěma způsoby. První způsob je založen na stacionárně uloženém vřetenu upevněném např. na stojanu tzv. „FLOOR-MOUNTED“. Obrobek je uchycen v čelistech koncového efektoru robotu, který svými pohyby okolo nástroje provádí obráběcí proces, resp. odjehlování. Tento způsob je vhodný zejména pokud se jedná o obrobky menších až středních rozměrů a hmotností, z důvodu působení menších setrvačných účinků. Druhým způsobem vhodným zejména pro rozměrnější obrobky, je upevnění obrobku na stole. Koncovým efektozem je nástroj, kterým robot provádí obráběcí aplikaci. Takto realizované pracoviště se nazývá „ROBOT-MOUNTED“. Oba příklady jsou zobrazeny na Obr. 13 [12].

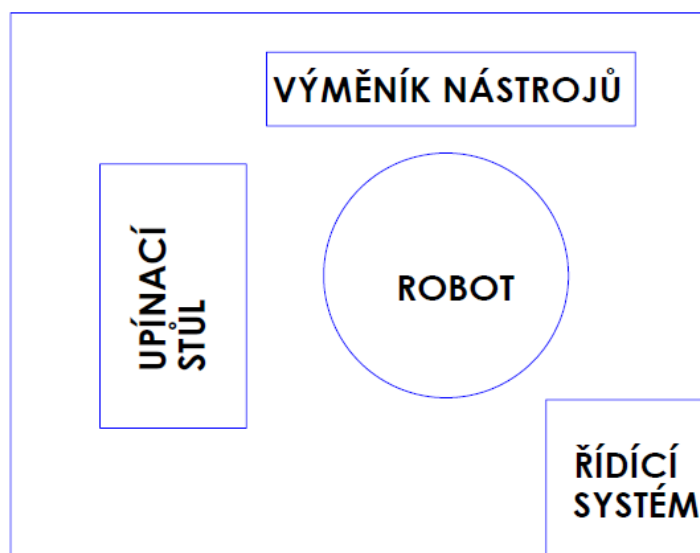


Obr. 20) Dva typy robotizovaného pracoviště dle zhotovení obrobku [12]

Při navrhování robotizovaného pracoviště se představivosti meze nekladou. Vybraná varianta by měla nejlépe splňovat podmínky účelnosti, finanční a časové nákladnosti. Příkladem jsou níže uvedené koncepty robotizovaného pracoviště pro odjehlovací aplikaci.

### 8.1 Koncept pracoviště A

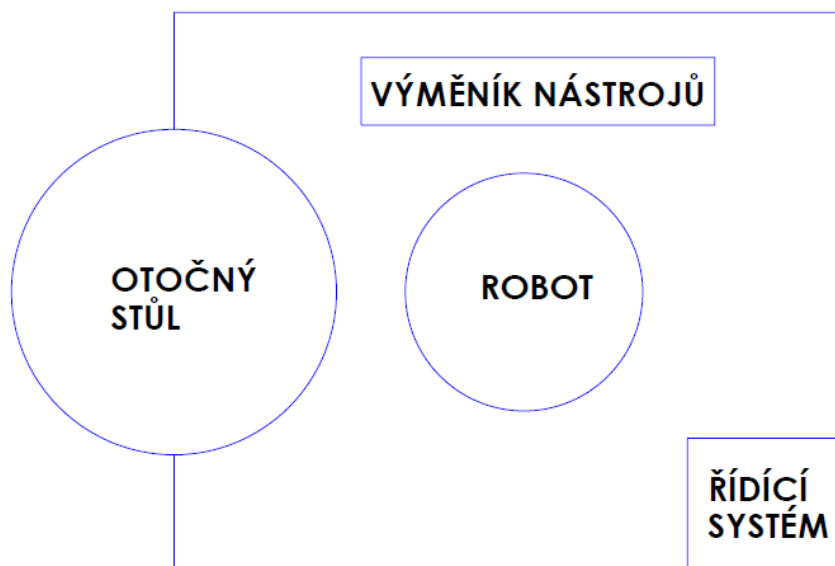
Schéma pracoviště je zobrazeno na Obr. 21. Jedná se o jednoduché, základní pracoviště s uložením vřetene typu ROBOT-MOUNTED, kde je obrobek fixován na pracovním stole s vhodnou upínací jednotkou. Upínací úkon je manuální a je vykonáván obsluhou v pracovním prostoru robotu. Pracoviště může být vybaveno výměníkem nástrojů pro automatickou výměnu, nebo tento úkon bude vykonávat obsluha. Výhodou tohoto konceptu je nízká cena z důvodu absence periferních zařízení. Naopak nevýhodou je nutnost obsluhy vstupovat do pracovního prostoru, a z toho plynoucí nízká míra automatizace procesu a možná rizika.



Obr. 21) Schéma pracoviště A

## 8.2 Koncept pracoviště B

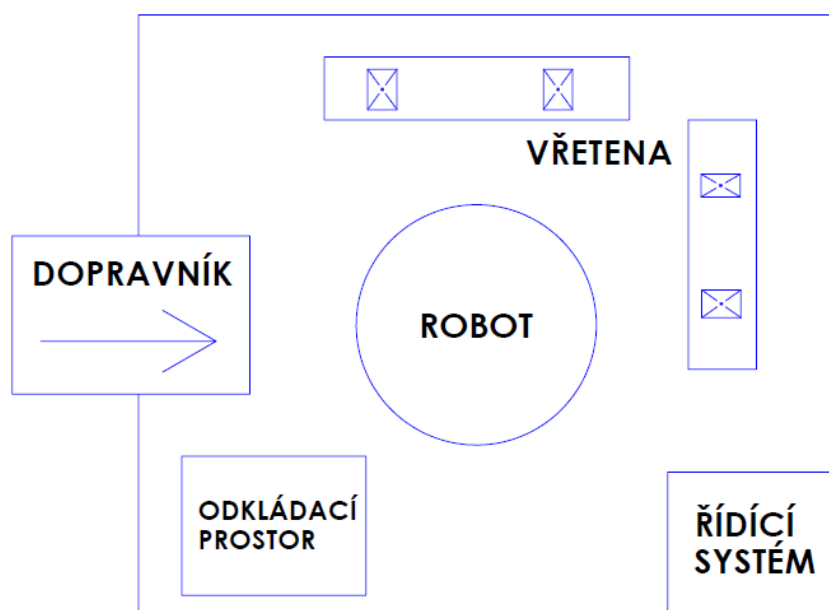
Pokud zůstaneme u vřetene s variantou ROBOT-MOUNTED, nabízí se doplnění předchozího konceptu o otočný stůl, který umožní obsluhu zakládat obrobky, aniž by musela vstupovat do pracovního prostoru robotu (Obr. 22). Dále může být pracoviště vybaveno o automatickou výměnu nástrojů, která ušetří čas v daném obráběcím procesu. Nevýhodou je časový prostoj potřebný k otočení stolu. Naopak jako výhoda se naskýtá možnost dobré fixace obrobku.



Obr. 22) Schéma pracoviště B

### 8.3 Koncept pracoviště C

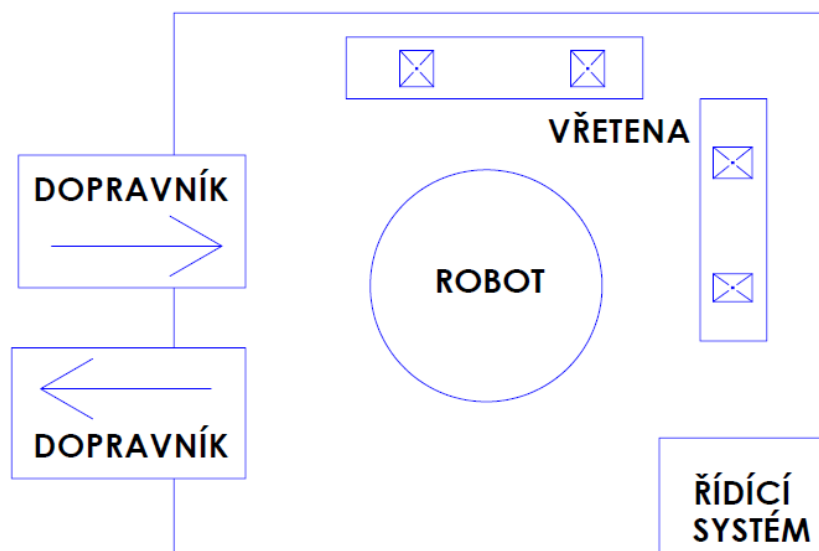
Další koncept s větší mírou automatizace a FLOOR-MOUNTED variantou je zobrazen na Obr. 23. O přísun obrobku do pracovního prostoru se stará dopravník, takže lidská spolupráce je v tomto ohledu vynechána. Robot pomocí chapadlového koncového efektoru uchopí obrobek z dopravníku a přesune ho do technologického prostoru, kde jsou stacionárně upevněna vřetena, která vykonají obráběcí proces. Hotový obrobek může být dále vložen do testovací stanice, nebo přesunut na odkládací prostor. Odkládacím prostorem se rozumí paleta, nebo průmyslový vozík s kolečky, který po dosažení své kapacity obsluha přes vstupní vrata odveze pryč z pracovního prostoru. Z bezpečnostní důvodu je však nutné zastavit výrobní proces při vstupu obsluhy do pracoviště.



Obr. 23) Schéma pracoviště C

### 8.4 Koncept pracoviště D

Koncept D (Obr. 24) je totožný s předchozím návrhem, jen je zvýšena míra automatizace procesu, který se může obejít bez lidské spolupráce. Navíc zde přibyl další dopravník, který je určen pro přepravu hotových obrobků pryč z pracovního prostoru. Výhodou tohoto konceptu je nepřetržitý provoz, neboť přísun obrobků do pracovního prostoru a z něj je plně automatizován. Na druhou stranu s rostoucím počtem periferních zařízení, roste i pořizovací cena celého pracoviště.



Obr. 24) Schéma pracoviště D

### 8.5 Výběr vhodné varianty

Koncept pracoviště A je zavrhnut hned ze začátku, neboť je snahou navrhnout pracoviště, kde obsluha nebude v kontaktu s robotem. Navíc čas potřebný k upnutí obrobku znamená zastavení celého procesu. Bude se tedy rozhodovat nad zbývajících třemi variantami (B, C, D). Tyto varianty se liší v podobě realizace odjehlovací operace. Koncept pracoviště B (Obr. 22) je realizován s odjehlovacím vřetenem upevněným na robotu, a koncept C a D (Obr. 23, 24) je naopak s robotem vybaveným chapadlem a vřeteno je řešeno se stacionárním uložením.

Je zvolen koncept pracoviště s označením B (Obr.22), tedy varianta s otočným stolem. Inspirací jsou robotické svařovací buňky, které jsou řešeny podobným způsobem. Bude tedy snahou navrhnout pracoviště s pracovním stolem, který bude řešen jako dvoupolohový. Robot bude vybaven odjehlovacím vřetenem, takže nebude muset manipulovat s hmotnějším obrobkem, který by působil většími setrvačnými účinky. Předpokládá se i rychlejší proces odjehlení, protože robot bude pracovat v menší oblasti, a nebude muset vykonávat dlouhé trasy nutné pro přemístění. Obrobky na pracovní stůl budou zakládány obsluhou pracoviště, ale v budoucnu lze zakládání obrobků rozšířit o robot nebo manipulátor.

#### Požadavky na pracoviště:

- Max. rozměry pracoviště: 4x4x3m (šířka x hloubka x výška)
- Obrobení objektu na jedno upnutí
- Obrobení objektu z 5-ti stran
- Zátěž stolu na jedné straně: max. 100 kg
- Automatická výměna nástrojů, nebo více-nástrojový koncový efektor.

## 9 OTOČNÝ STŮL

Pro zvolený koncept pracoviště je nutné navrhnout otočný stůl, který bude sloužit k přesunu obrobku ze základacího prostoru do prostoru pracovního. Otočný stůl se bude skládat z nosného rámu, otočné jednotky a desky stolu. Nosný rám může být zhotoven z levných montovatelných modulárních hliníkových profilů, nebo se může jednat o rám se svařovanou konstrukcí z obdélníkových nebo čtvercových profilů tzv. „jeklů“. Jelikož robotické pracoviště slouží k obráběcím účelům, je tedy vhodnější zvolit pevnější svařovanou konstrukci s vyšší nosností.

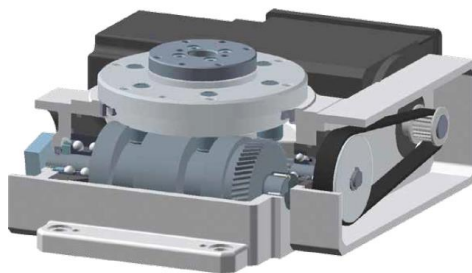
### 9.1 Otočná jednotka

Otočení stolu je realizováno pomocí elektrické otočné jednotky. Ta byla vybrána od renomovaného výrobce WEISS. Podmínkou je přesné dvoupolohové otáčení stolu a dostatečná nosnost. K tomuto účelu poslouží indexovací otočná jednotka řady TC, která pomocí vačkového mechanismu zaručuje plynulý a rychlý přechod mezi stanovenými polohami. Vybírám mezi otočnou jednotkou TC 220 T a TC 320 T. Obě tyto jednotky lze osadit deskou stolu o doporučeném průměru u prvního modelu Ø1100 mm a Ø1400 mm u druhého modelu. Pro docílení větší pracovní plochy volím otočnou jednotku vyšší třídy, tedy TC 320 T, která bude osazena stolem s doporučeným maximálním průměrem.

Rychlost otočení jednotky je závislá na momentu setrvačných účinků jeho břemen. Pro dvoupolohové otáčení je maximální přípustný moment setrvačnosti  $J_{\max} = 214 \text{ kg.m}^2$  s dobou otočení  $t_s = 4,55 \text{ sec}$ . Momenty setrvačnosti lze získat výpočtem s použitím Steinerovy věty. Nabízí se ovšem možnost získat požadované hodnoty setrvačnosti ( $J$ ) díky již vytvořeným modelům v softwaru SOLIDWORKS. Výrobce v katalogu udává minimální dobu pro otočení desky stolu do požadované polohy.

Tab 1) Moment setrvačnosti

$J_{\max} [\text{kg.m}^2]$	$J [\text{kg.m}^2]$	$t_{\min} [\text{s}]$
214	16,3	1,37



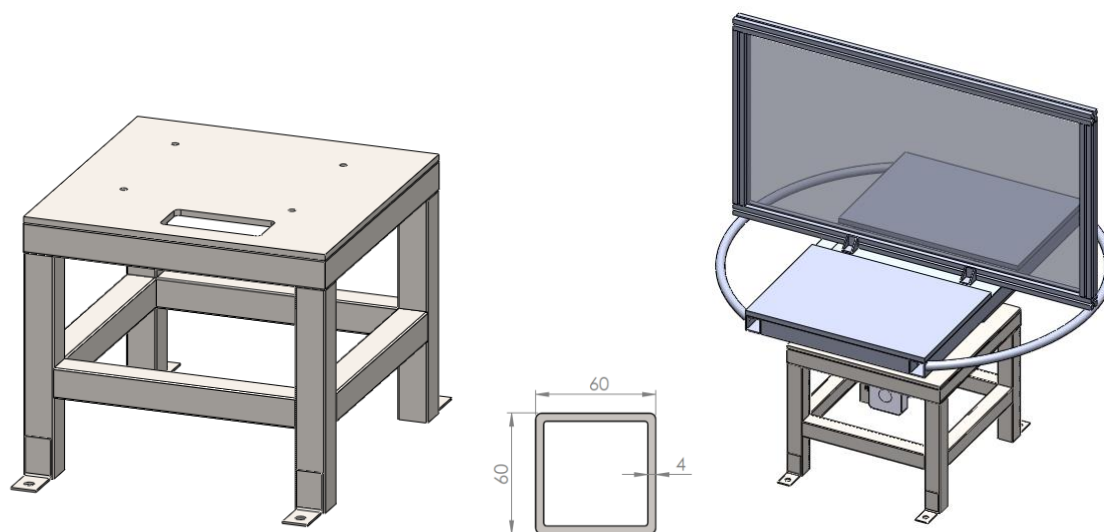
Obr. 25) Otočná jednotky od firmy WEISS [20]

## 9.2 Nosný rám

Jedná se o svařovaný rám z čtvercových profilů konstrukční oceli S235JR. Rám musí splňovat rozměrové požadavky, být stabilní a umožnit připevnění otočné jednotky. Součástí rámu jsou kotvicí patky k jeho pevné fixaci k zemi nebo základové desce pracoviště. Nevýhodou je nemožnost rám výškově nastavovat. Dále je v rámu vyřezán otvor z důvodu požadavku otočné jednotky.

## 9.3 Deska Stolu

Zde se nabízí varianta monolitní desky, nebo svařovaná konstrukce. Nad montovanou konstrukcí neuvažují z důvodu nižší tuhosti než předešlé dvě zmiňované. Monolitní deska má výhody ve své jednoduchosti, tuhosti, a velké zatížitelnosti. Naopak nevýhodou je vysoká hmotnost monolitního kusu materiálu a velký moment setrvačnosti. Z tohoto důvodu je výhodnější odlehčená svařovaná konstrukce. Pracovní deska stolu bude vybavena průzorem vyplněným PMMA materiálem ukotveném v rámu ze stavebnicových hliníkových profilů. Pracovní deska stolu musí být umístěna v dostatečné výšce nad podlahou, aby byly splněny legislativní podmínky bezpečnosti práce pro obsluhu, které jsou obsaženy v normě ČSN EN ISO 6385.



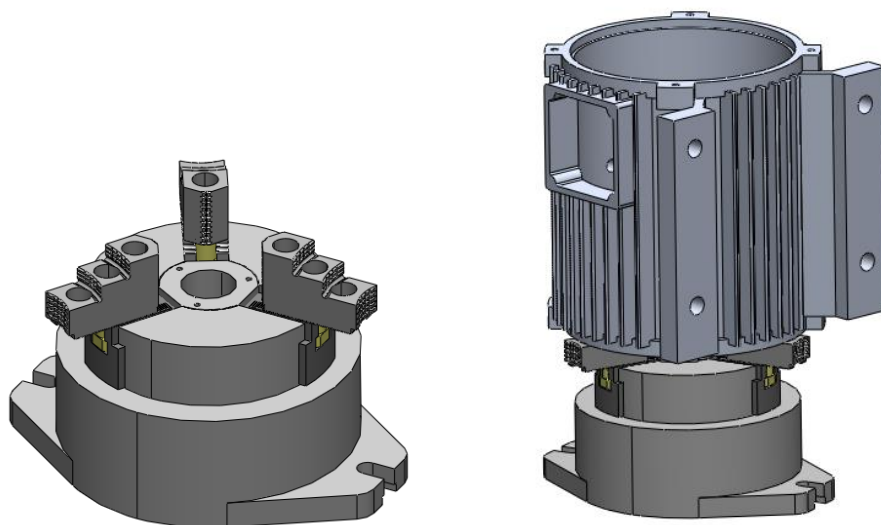
Obr. 26) Rám stolu ze čtvercového profilu a kompletní sestava

## 9.4 Upnutí obrobku

Klíčovým aspektem robotizovaného pracoviště je vhodné upnutí obrobku. K tomuto účelu poslouží manuální, nebo pneumatické stacionární upínací čelisti, a to v případě, že bude obrobek upínán za čelní válcovou plochu (Obr. 27). Výhodou je možnost upnutí statorových koster jiné velikosti díky stupňovitým a vyměnitelným čelistem. Nevýhodou je pak obtížná opakovatelnost fixace v požadované poloze. Tento neduh lze však vyřešit rozšířením upínacího systému o další prvky. Další nevýhodou je nemožnost vykonání odjehlení na jedno upnutí, z toho vyplývá nárůst vedlejších časů potřebných k obrácení obrobku.

Jiná možnost, která se nabízí, je použití fixačních kolíků v kombinaci s manuálními, nebo otočnými pneumatickými upínkami (Obr. 28). Obrobek se položí čelní stranou tak, aby fixační kolíky vlezly do děr pro namontování příruby elektromotoru, tyto díry jsou tolerovány, takže docílíme ustanovení obrobku vždy ve stejné poloze. Upnutí pak provedeme manuálně, nebo pohodlnější cestou automaticky přes pneumatické otočné upínky.

Nabízí se také možnost upnout statorovou kostru v poloze, kdy patky budou v kontaktu s pracovním stolem. Zpřístupní se tak prostor k odjehlení čelních válcových ploch na úkor zhoršené přístupnosti nástroje k patkám. Ale zůstaneme u varianty s upnutím za čelní plochu.

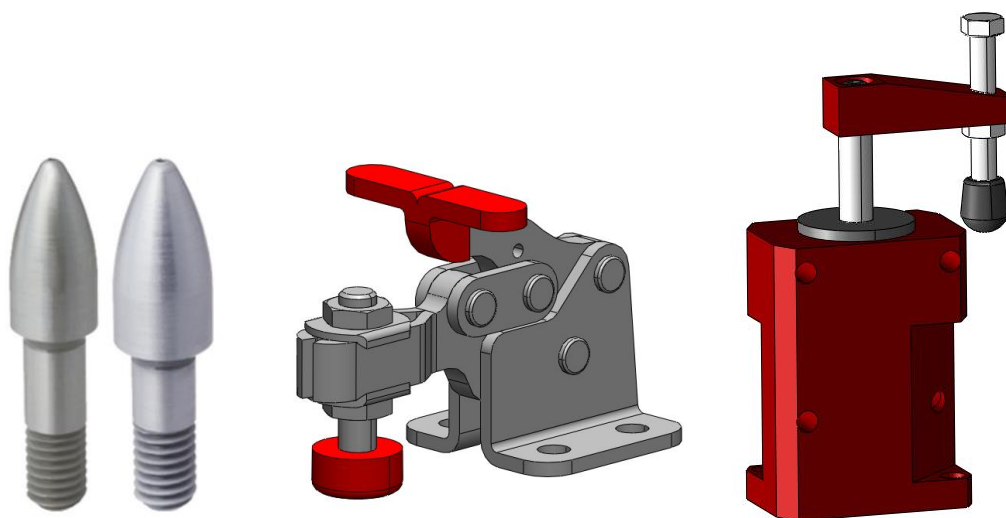


Obr. 27) Stacionární upínací čelisti se zobrazením upnutí obrobku

Tab 2) Výběr vhodné varianty upnutí obrobku

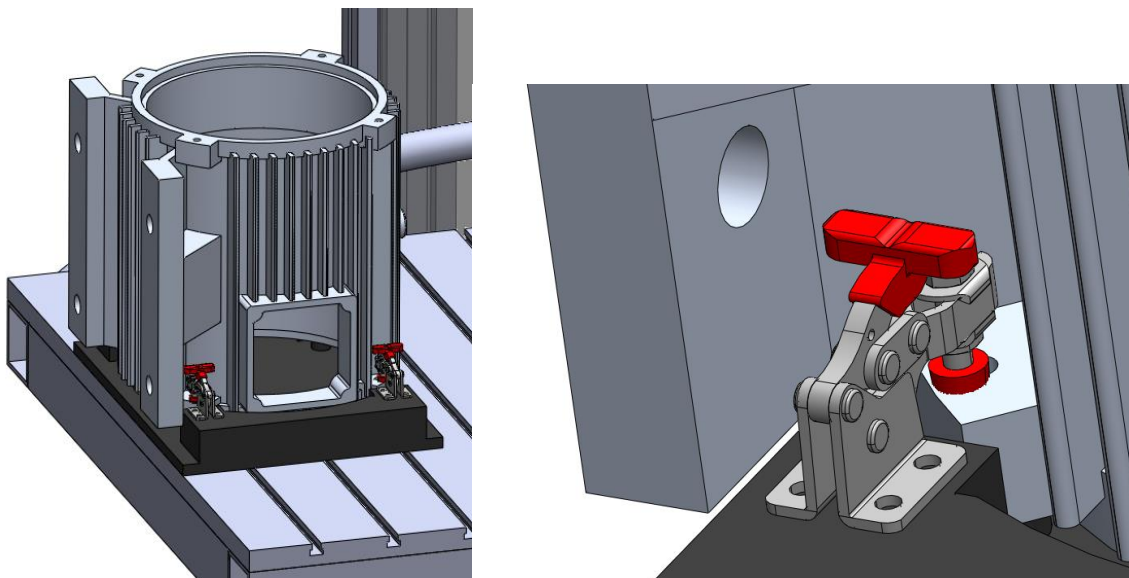
Způsob upnutí	Stacionární čelisti	Upínka pneumatická	Upínka manuální
Rychlost	3	3	3
Požadavky	1	2	5
Cena	1	3	5
Síla	5	2	4
Body celkem	10	10	17

Provedl jsem hodnocení jednotlivých způsobů upnutí obrobku pro určení optimální varianty. V poměru ceny, nízkých požadavků a upínací síly se jako nejlepší varianta jeví způsob manuálního upínání (Obr. 29, 30). Tato varianta poskytne dostatečnou upínací sílu, rychlost upnutí, a má malý zástavbový prostor, tedy nepřekáží pracovnímu nástroji robotu. Upínací prostředky jsou od firmy DESCATO.

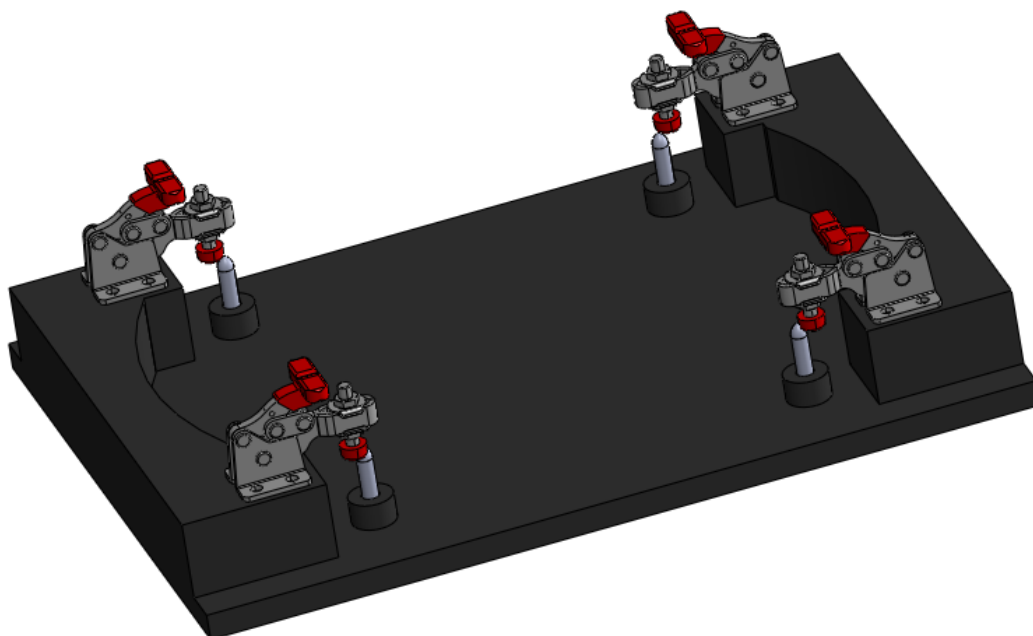


Obr. 28) Zleva fixační kolíky, dále manuální a pneumatická upínka





Obr. 29) Upnutí obrobku na stole (vlevo). Detail (vpravo).



Obr. 30) Koncepční návrh upínací soustavy. upínací deska je vybavena čtyřmi hroťovými kolíky pro aretaci a čtyřmi upínkami pro fixaci

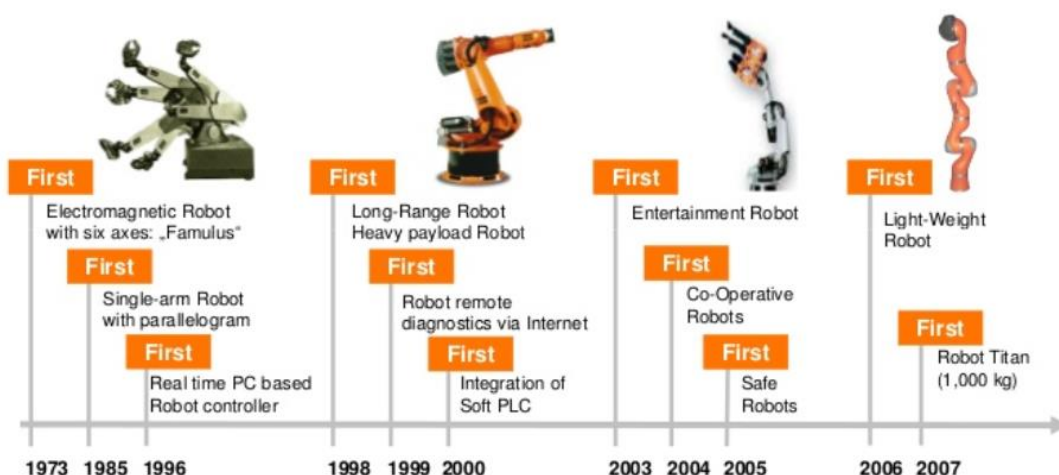


## 10 VÝBĚR ROBOTU

Dle zadání diplomové práce je pro obráběcí aplikaci zvolen robot od firmy KUKA. Robot je vybrán, tak aby byly splněny potřebné technické požadavky. Jak již bylo uvedeno výše, je potřeba vybrat dostatečně tuhý robot, který bude kvalitně a dlouhodobě plnit zadaný obráběcí úkol.

### 10.1 Společnost KUKA robotics

Prvního elektromechanicky řízeného šestiosého robota s názvem FAMULUS firma sestavila v roce 1973. Dnes společnost KUKA patří k předním světovým výrobcům průmyslových robotů a odborníkům na robotiku a automatizaci. Díky svému rozsáhlému portfoliu robotů pokrývá téměř všechny typy, rozsahy a nosnosti. Roboty najdou uplatnění v mnoha odvětvích např.: svařování, odvětví obráběcích strojů, slévárenský, kovářský, plastikářský, potravinářský, automobilní průmysl a další.



Obr. 31) Časová osa historie firmy KUKA [21]

### 10.2 KUKA KR 16

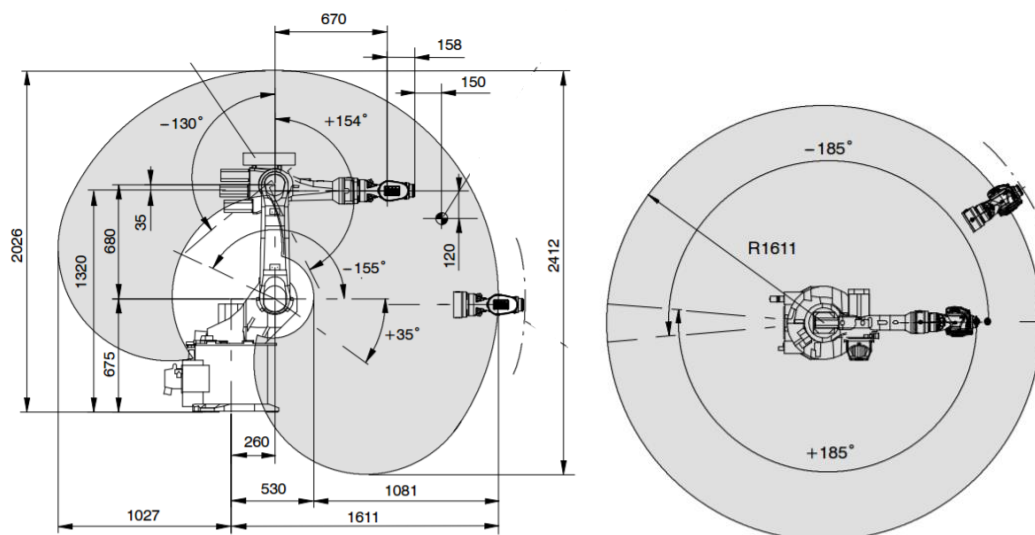
Jedná se o šestiosý robot s pracovním dosahem až 1611 mm a maximální nosností břemene 16 kg. Přesnost a rychlost pracovních cyklů toho robota zaručuje širokou oblast použití, do které spadá i mechanické obrábění, takže se uplatní i při odjehlovacích aplikacích. Robot díky své ovladatelnosti dosáhne jakéhokoliv bodu i v stísněném prostoru, což je výhodou u tvarově složitých obrobků, a na druhou stranu jej lze realizovat v kompaktnějších pracovištích.



- **Nosnost:** 16 kg
- **Dosah:** 1611 mm
- **Hmotnost:** 240 kg
- **Přesnost:**  $\pm 0,05$  mm
- **Krytí:** IP 65

Obr. 32) Robot KUKA KR 16  
[22]

O řízení robotu se postará nejnovější kontrolní řídicí jednotka KR C4 od firmy KUKA. Tato řídicí jednotka zaručí řízení nejen samotného robotu, ale i dalších pohybových jednotek v celém pracovišti. KR C4 umožňuje programovat pohyby robota i jeho operace přes G-kód vygenerovaný CAD/CAM systémy.



Obr. 33) Dosažitelný rozsah robotu KR 16 v prostoru [23]

# 11 NÁSTROJ

V této kapitole jsou popsány vhodné nástroje s jejich periferiemi pro odjehlování.

## 11.1 Vřeteno

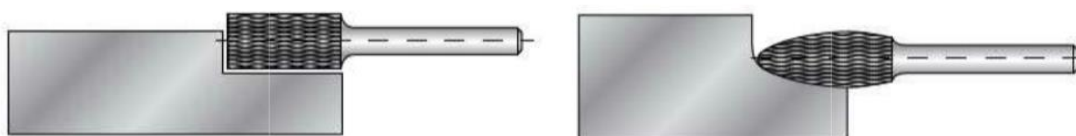
K odjehlení hliníkových odlitků se používají pneumatická vysokootáčková vřetena s radiální poddajností. Vybral jsem tedy vřetena od společnosti SCHUNK o výkonu 660 W, které poskytuje dostatečný výkon pro zvolenou aplikaci.



Obr. 34) Vřeteno FDB – 660 [8]

## 11.2 Nástroj

Na základě univerzálního použití jsou vybrány kolíkové frézy typu A, a typu H, které se nejčastěji využívají v oblasti robotického odjehlování nálitků a otřepů (Obr. 35). Průměry hlavice jsou od 3 mm do 16 mm.



Obr. 35) Kolíková fréza typu A, a kolíková fréza typu H [27]

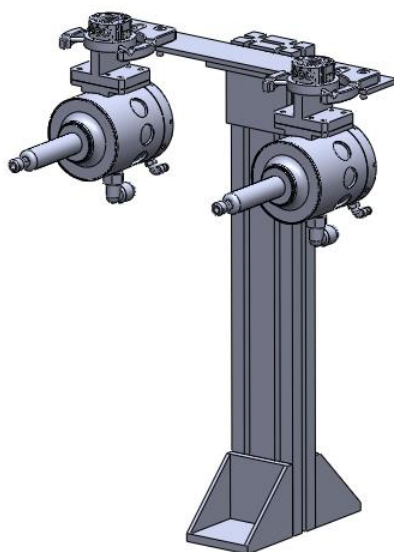
### 11.3 Výměna nástroje

Prvotní úvaha spočívala ve dvounástrojové hlavici, tedy koncovém efektoru, který by byl vybaven dvěma vřetení s nástroji. Zkrátily by se tím vedlejší časy, protože robot by měl k dispozici dva nástroje najednou. Nevýhodou by byl ovšem celkový rozměr tohoto řešení, které by se s velkou pravděpodobností mohlo dostat do kontaktu s okolním vybavením pracoviště. Avšak tento koncept lze využít jako univerzální řešení pro jiný, méně rozměrný obrobek, než je vybrán v našem případě.

Robot bude tedy vybaven jen jedním pracovním vřetenem, a pracoviště bude disponovat stojanem s náhradními vřetení. Rychlá výměna bude prováděna za pomoci pneumaticky ovládaných přírub, na kterou se specializuje firma Schunk s výrobní řadou SWS (Obr. 36). Nárůst časů s tímto řešením by tak neměl být markantní.



Obr. 36) Pneumatický systém pro rychlou výměnu nástrojů. 1- Adapter; 2 – Příruba na straně robotu; 3, 7- el. modul pro přenos signálu; 4 – Zamykací mechanismus; 5- Zamykací prstenec; 6- Příruba na straně robotu. [24]



Obr. 37) Návrh stojanu s náhradními vřetení pro rychlou výměnu nástrojů

## 12 BEZPEČNOST PRACOVÍŠTĚ

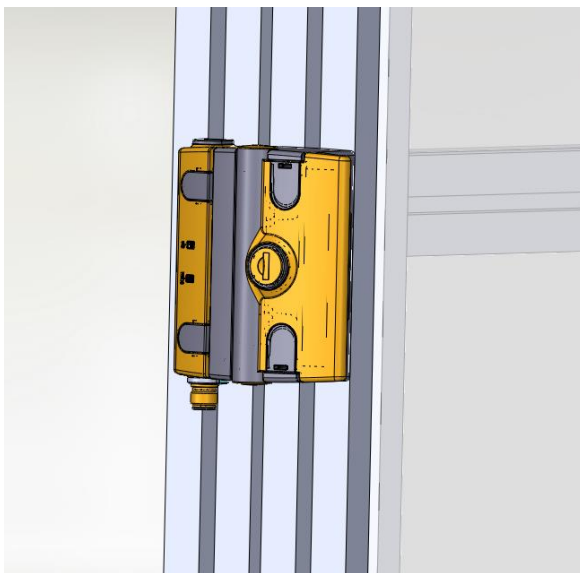
Mezi základní bezpečností prostředky patří ochranné kryty, ochranné ploty, světelné závory, tlačítka nouzového zastavení, dveřní zámky atd.

### 12.1 Ochranné oplocení

Jedná se o typ pevné zábrany stavebnicové struktury, která ohraničuje celé pracoviště a znemožňuje tak přístup obsluhy do pracovního prostoru. Prostor mezi nosnými sloupky lze vyplnit pletivem, plexisklem, nebo neprůhlednou clonou. Oplocení zahrnuje vstupní dveře vybavené bezpečnostním dveřním zámkem a tlačítkem nouzového zastavení.

Oplocení je řešeno pomocí modulárních hliníkových profilů, které tvoří rámovou kostru celého pracoviště. Každý rám je vyplněn panelem z PMMA materiálu, který zachytí prach, třísky a jiné nečistoty vznikající z povahy prováděné operace. Oplocení má standardizovanou výšku 2200 mm s mezerou 150 mm od podlahy, pro snadnější úklid. Tato mezera může být podle požadavku vyplněna tenkým plechem. Navržené ochranné oplocení splňuje směrnice bezpečnosti strojních zařízení.

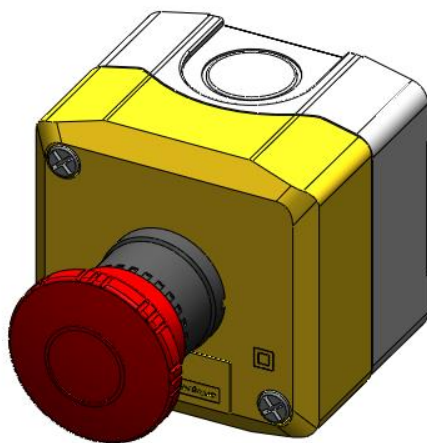
Přístup do pracoviště je řešen přes vstupní dveře situované v zadní části vedle řídicí jednotky. Dveře nemusí být vybaveny uzamykatelným zámkem, neboť zastavení robotu je případě nouze velmi rychlé, takže robot stojí dříve, než obsluha stihne otevřít dveře a dostat se do pracovního prostoru. Z toho důvodu je použit transpondérový spínač pro kontrolu zavřených dveří.



Obr. 38) Madlo s transpondérovým spínačem firmy EUCHNER

## 12.2 Zařízení nouzového zastavení

Požadavky na tyto zařízení podléhají normě ČSN EN ISO 13850. Tato mezinárodní norma specifikuje funkční požadavky a konstrukční zásady pro funkci nouzového zastavení u strojních zařízení, a to nezávisle na druhu energie používanou pro ovládací funkci. V principu se jedná o ruční ovládací zařízení nejčastěji v podobě hříbovitého tlačítka, může se ale vyskytovat i v podobě páky, nebo nožního pedálu.



Obr. 39) STOP tlačítko nouzového zastavení (SICK)

## 12.3 Bezpečnostní tlaková deska

Bezpečnostní tlaková deska (Obr.40) je koncipována na hmotnost pracovníka. Když obsluha otočného stolu stojí na tlakové desce a zakládá obrobek, je vydán pokyn pro otočnou jednotku pracovního stolu, aby se neotočila. Zabrání se tak nechtěnému otočení stolu, kterou obsluha neočekává.



Obr. 40) Bezpečnostní tlaková deska [25]



## 12.4 Signální věž

Signální věž se světelnou a zvukovou signalizací pro vyšší bezpečnost robotizovaného pracoviště. Vhodná na přímou montáž nebo montáž na stěnu. O signalizaci se starají LED svítidly. Zvuková signalizace se ozve pokaždé při spuštění pracoviště, když dojde k ukončení všech procesů při vypnutí a pokud dojde k poruchovému stavu.

Světelná signalizace svítí:

- ZELENE
- Pracoviště je v chodu a pracuje ve standardních podmínkách
- ČERVENE
- Pracoviště je nouzově zastaveno, nebo nastala porucha.
- ORANŽOVÉ
- Na pracovišti probíhá údržba, nebo programování robotu

## 12.5 Hluk

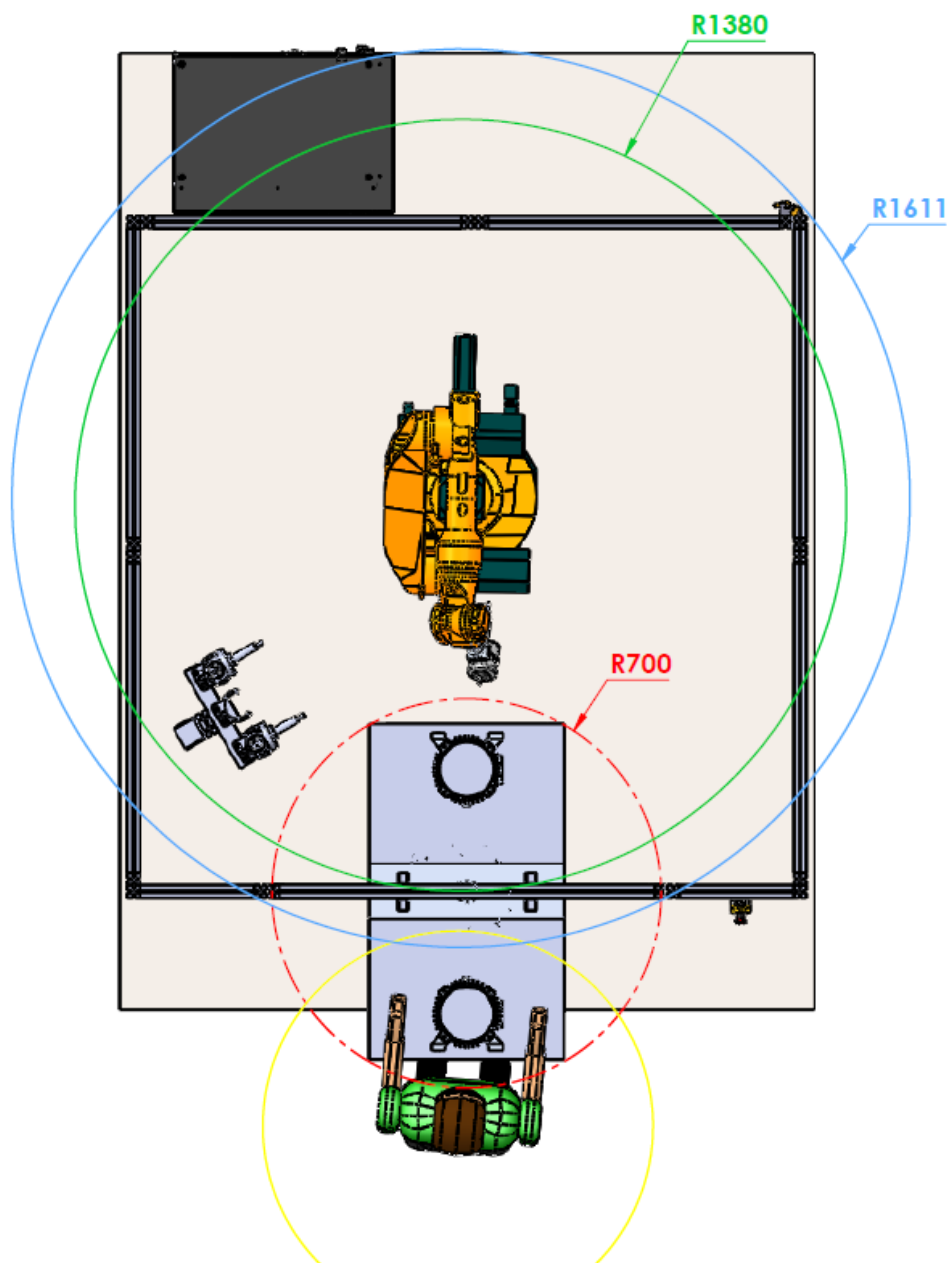
I když je chod pneumaticky poháněných vřeten poměrně tichý, tak odjehlovací operace je velice hlučná. Úroveň hluku může dosahovat hodnot okolo 80 dB, proto je vhodné, aby obsluha pracoviště nosila ochranné protihlukové pomůcky.



Obr. 41) Požadavek na ochranné pomůcky proti hluku [26]

## 12.6 Pracovní oblasti

Příložený Obr.42 zobrazuje modrou oblast R1611, která ohraničuje prostor maximálního dosahu robotu. Jedná se o hraniční oblast, kde robot nemusí plnit své úkoly v požadované kvalitě, protože je limitován svým konstrukčním uspořádáním. V zelené oblasti R1380 robot splňuje požadavky na odjehlovací aplikaci, jedná se tedy o pracovní oblast robotu. Červená oblast R700 vyznačuje prostor otočného stolu. Žlutá oblast ohraničuje manipulační dosah obsluhy natažených rukou.



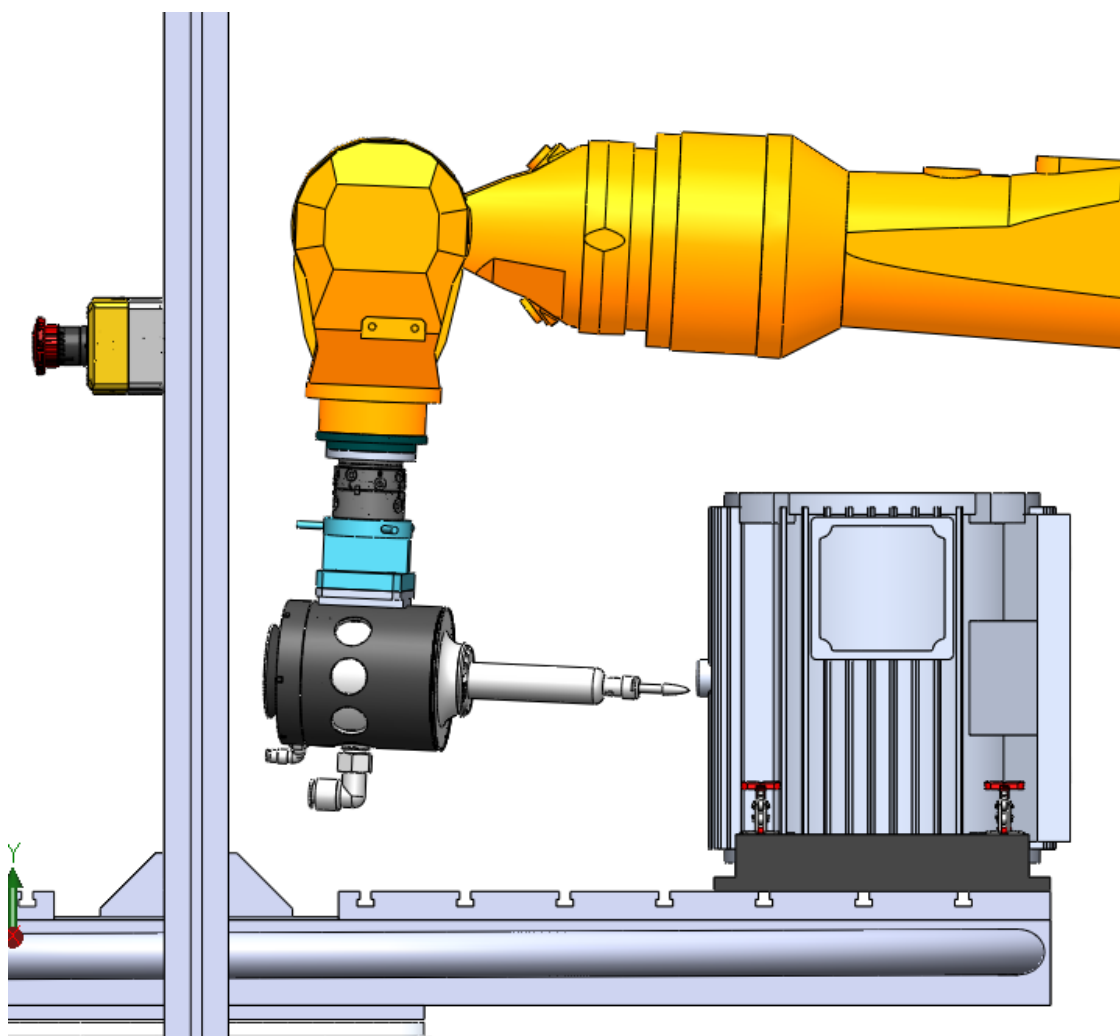
Obr. 42) Pracovní oblasti robotického pracoviště

## 13 SIMULACE

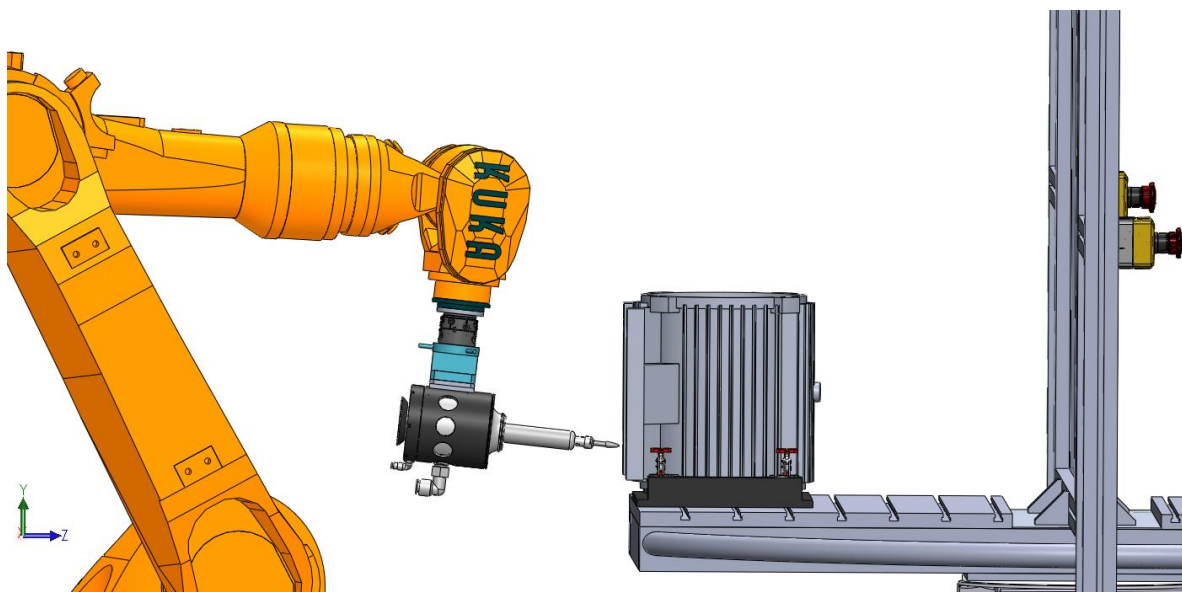
### 13.1 Simulace dosažitelnosti

V programu SOLIDWORKS proběhla simulace dosažitelnosti robotu a nástroje v prostoru obrobku. Robot byl umístěn do krajních poloh potřebných k odjehlení součásti, aby byly zjištěny jeho možnosti manévrovatelnosti a zda nedojde ke kontaktu s periferiemi pracoviště, jenž by způsobilo poškození nástroje, nebo zhoršenou kvalitu odjehlovacího úkonu.

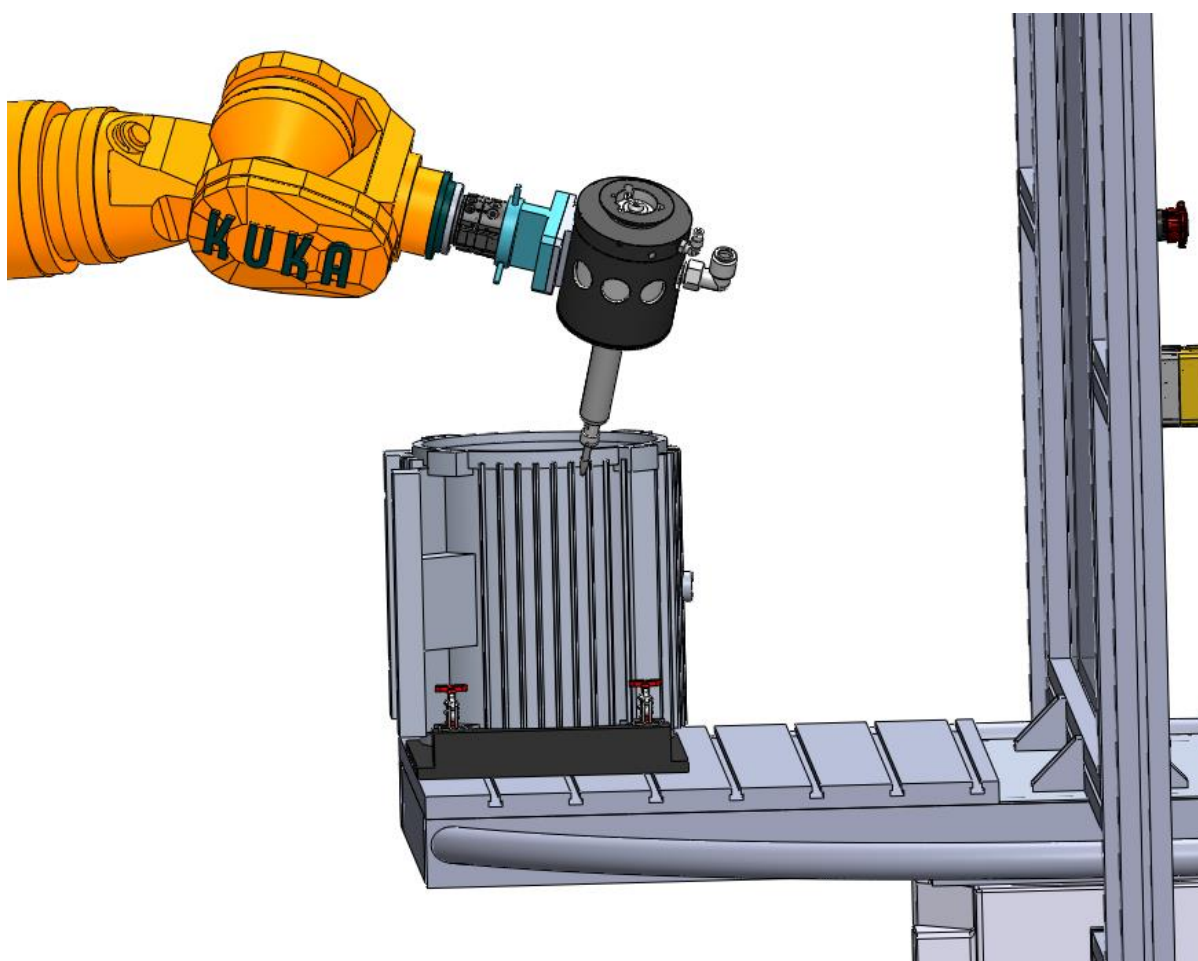
Nejkritičtějším místem je oblast mezi obrobkem a průzorem stolu (Obr. 43). Při programování robotu musí programátor dbát na zvýšenou opatrnost v tomto místě, protože by mohlo dojít ke kontaktu vřetene, nebo samotného robotu s průzorem. V dalších kontrolovaných místech má robot dostatečný prostor pro manévrování a není nijak limitován ani periferiemi pracoviště, ani omezením vlastní konstrukce.



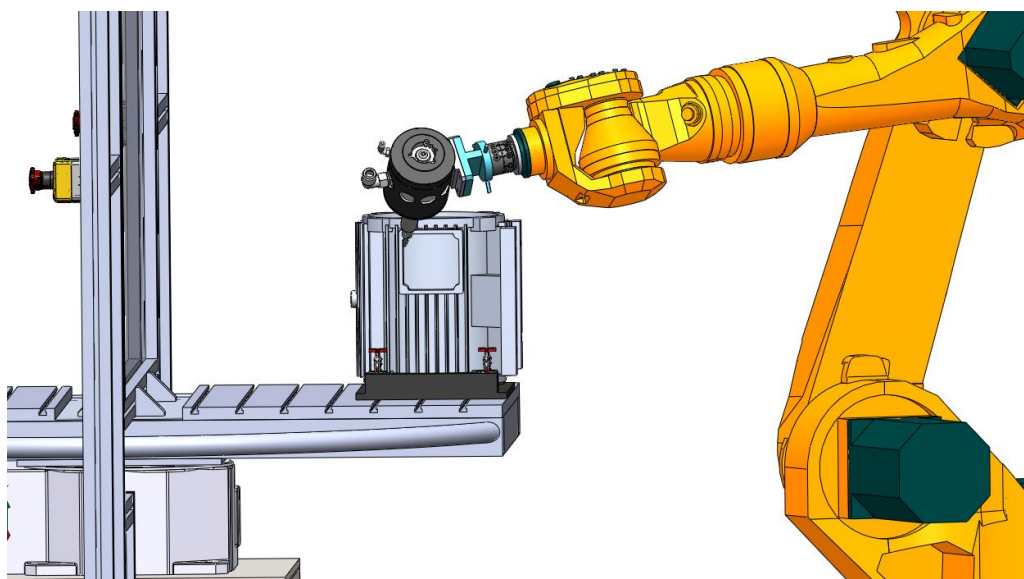
Obr. 43) Přístup obrobku ze strany průzoru stolu



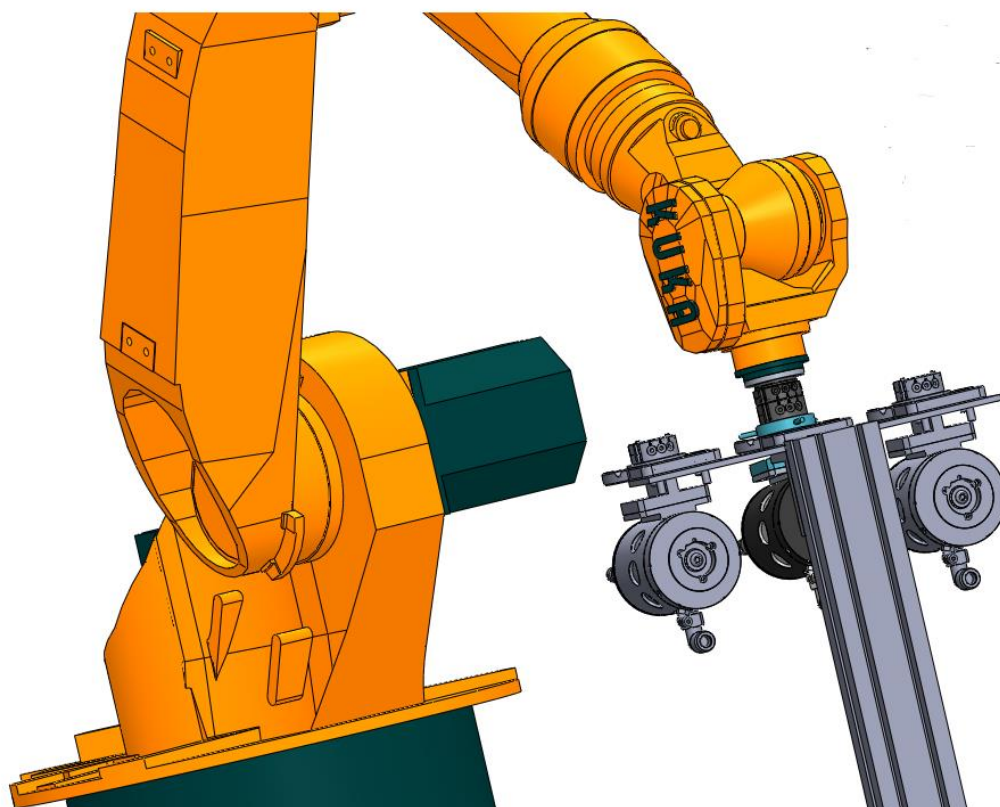
Obr. 44) Přístup z přední strany



Obr. 45) Přístup z pravé strany



Obr. 46) Přístup z levé strany



Obr. 47) Přístup k výměně nástrojů

### 13.2 Průběh pracovního cyklu

Robotizované pracoviště může pracovat dvěma způsoby. **Prvním způsobem** spočívá v zakládání obrobků na jednu stranu pracovního stolu, přičemž druhá strana zůstane vždy prázdná a nevyužitá (Tab. 3). **Druhý způsob** je opačný, tedy zakládání obrobku do všech volných pozic pracovního stolu, takže stůl má plně osazenu celou kapacitu. Na jednom obrobku probíhá odjehlovací aplikace a druhý čeká ve frontě. Cyklus pak vypadá následovně (viz TAB. 4):

Pracovní cyklus buňky začíná vstupem obsluhy na bezpečnostní tlakovou desku. Z tohoto místa obsluha upne obrobek č.1 v požadované poloze na pracovní stůl. Poté zmáčknutím spínače na spodní straně stolu vydá obsluha pokyn, že je obrobek č.1 založen a otočná jednotka může přesunout obrobek č.1 do pracovního prostoru robotu. Následně robot začne provádět odjehlovací aplikaci a mezitím obsluha založí na volnou stranu stolu obrobek č.2, který bude čekat „ve frontě“. Po skončení robotického odjehlení obrobku č.1 se otočí pracovní stůl a robot přistoupí k operaci odjehlení obrobku č.2. Po tuto dobu má obsluha dostatečné množství času otočit a upnout obrobek č.1, aby bylo možno jeho odjehlení z druhé čelní strany. Po skončení odjehlení kompletně celého obrobku č.1, zakládá obsluha na pracovní desku obrobek č.3, zatím co robot provádí poslední operaci na obrobku č.2. A takto se pokračuje dále.

Jelikož nebylo možné získat podrobné informace o výskytu náletků a otřepů pro zvolený objekt, nelze jednoznačně stanovit časový průběh odjehlení, a tudíž nebyla provedena ani simulace tohoto procesu. Můžeme se alespoň teoreticky pokusit zjistit potřebný čas pro odjehlení jednoho obrobku volbou vhodných proměnných. Výpočet potřebného času na odjehlení ztotožníme s výpočtem strojního času pro frézování (1), kde  $L_c$  [mm] je celková dráha nástroje a  $v_f$  [mm/min] je rychlost posuvu.

$$t_{AS} = \frac{L_c}{v_f} \quad (1)$$

Celkovou dráhu nástroje stanovíme z rozměru obrobku experimentální metodou tak, že sečteme všechny délkové rozměry, u kterých přepokládáme jejich odjehlení. Dráha nástroje je tedy stanovena na hodnotu 5000 mm a rychlost posuvu zvolíme 4 500 mm/min na základě informací obsažených v teoretické části.

$$t_{AS} = \frac{L_c}{v_f} = \frac{5000}{4500} = 1,11 \text{ min} = 66,6 \text{ sec}$$

Doba pro odjehlení celého obrobku je tedy vypočítána na 66,6 sekund. V následující tabulce (Tab 3) rozdělíme tuto hodnotu v poměru 1:3, a to z důvodu nemožnosti odjehlení celé součásti a nutnosti jejího upnutí v jiné poloze. Minimální doba potřebná k odjehlení celého obrobku s dalšími potřebnými časy je 84,6 sekund. To ale pouze v případě, že pracujeme jen s jedním obrobkem a nevyužíváme potenciál celého stolu.

Tab 3) Tabulka časových hodnot odjehlení obrobku pro Způsob 1

Operace	Čas operace [s]	Průběžný čas [s]
Upnutí obrobku	3	3
Otočení stolu	2	5
Odjehlení	44,4	49,4
Otočení stolu	2	51,4
Upnutí obrobku	5	56,4
Otočení stolu	2	58,4
Odjehlení	22,2	80,6
Otočení stolu	2	82,6
Odebrání obrobku	2	84,6

Tab 4) Tabulka časových hodnot odjehlení obrobku pro Způsob 2

Operace	Čas operace [s]	Průběžný čas [s]
Upnutí O1	3	3
Otočení stolu	2	5
Odjehlení O1, upnutí O2	44,4	49,4
Otočení stolu	2	51,4
Odjehlení O2, přeupnutí O1	44,4	95,8
Otočení stolu	2	97,8
Odjehlení O1, přeupnutí O2	22,2	120
Otočení stolu, O1 hotovo	2	122
Odjehlení O2, upnutí O3	22,2	144,2
Otočení stolu, O2 hotovo	2	146,2
Odjehlení O3, upnutí O4	44,4	190,6
Otočení stolu	2	192,6
Odjehlení O4, přeupnutí O3	44,4	237
Otočení stolu	2	239
Odjehlení O3, přeupnutí O4	22,2	261,2
Otočení stolu, O3 hotovo	2	263,2
Odjehlení O4, upnutí O5	22,2	285,4
Otočení stolu, O4 hotovo	2	287,4
Odjehlení O5, upnutí O6	44,4	331,8
Otočení stolu	2	333,8
Odjehlení O6, přeupnutí O5	44,4	378,2
Otočení stolu	2	380,2
Odjehlení O5, přeupnutí O6	22,2	402,4
Otočení stolu, O5 hotovo	2	404,4
Odjehlení O6, upnutí O7	22,2	426,6
Otočení stolu, O6 hotovo	2	428,6

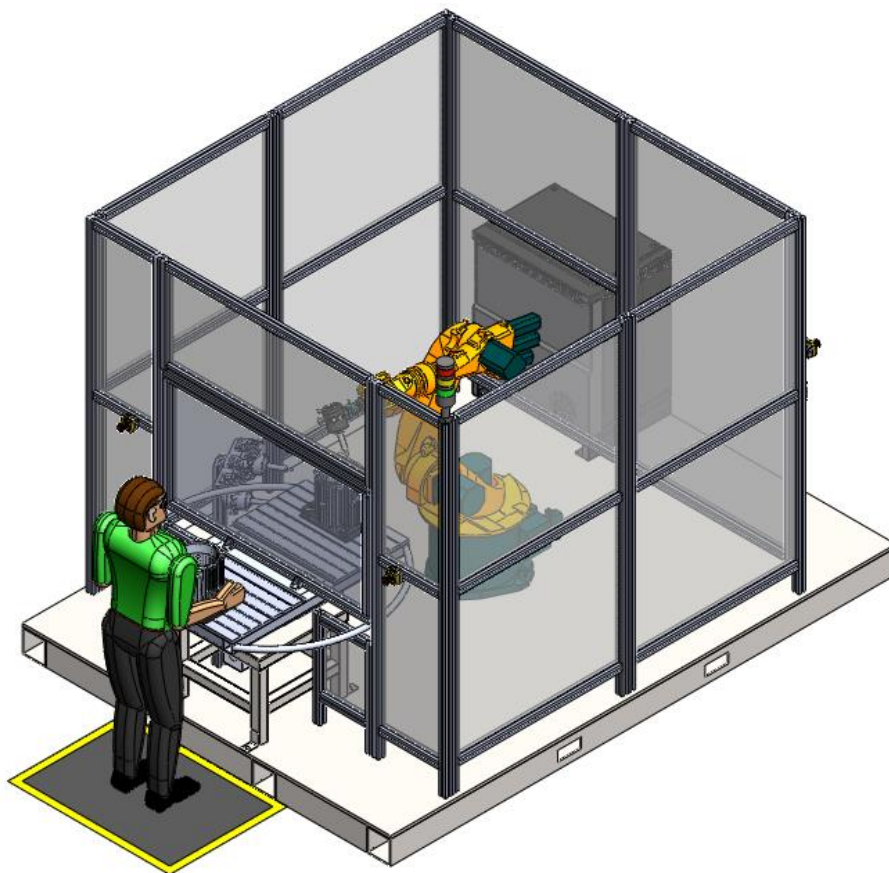
.....

A takto můžeme pokračovat dál.

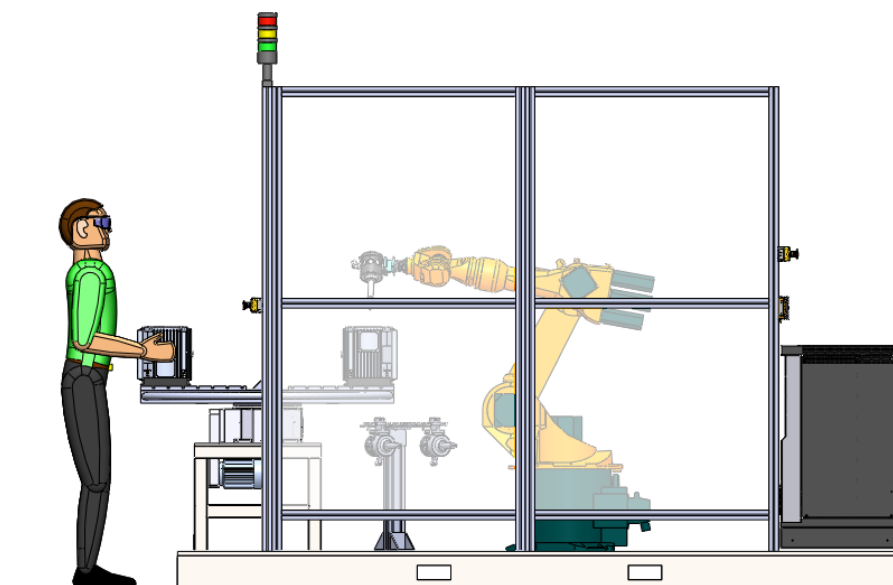
Cílem práce nebylo zjistit výkonnost pracoviště, ale pro ukázkou byly (TAB. 3 a TAB. 4) představeny 2 způsoby, jak lze plánovat výrobu na pracovišti. Je tedy jasné, že ač se druhý způsob zdá být komplikovanější, jeho vyšší produkce a ušetření celkových časů je jasné. Operace jsou v tabulkách jasně popsány a obrobek je pro zjednodušení pojmenován písmenem O. Přiložený tabulkový systém je v praxi vhodné nahradit sofistikovanějším softwarem pro plánování výroby (Asprova, Siemens PLM Tecnomatix, aj.).



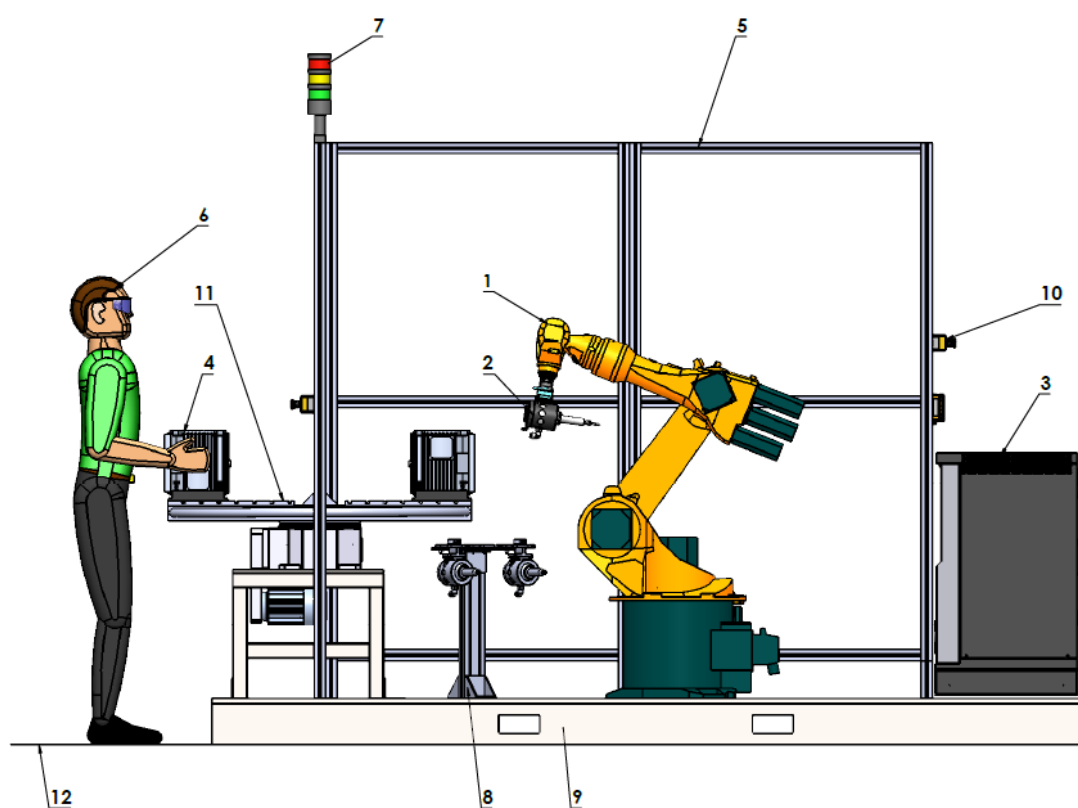
## 14 ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ



Obr. 48) Robotické pracoviště. Izometrický pohled



Obr. 49) Robotické pracoviště. Pohled zprava



Obr. 50) Robotické pracoviště. 1- Robot; 2- Vřeteno; 3- Řídící jednotka; 4- Obrobek; 5- Oplocení; 6- Obsluha; 7- Signální věž; 8- Stojan pro výměnu nástrojů; 9- Základ pracoviště; 11- Otočný pracovní stůl; 12- Tlaková bezpečnostní deska.

## 15 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Byl vypracován koncept robotizovaného pracoviště pro obráběcí aplikace, které je řešeno jako kompaktní pracoviště na pevném základu, ale lze jej realizovat i bez této podstavy. Po výběru vhodné varianty, bylo zapotřebí navrhnout a implementovat periferní zařízení důležitá pro efektivní funkci pracoviště.

Mezi stěžejní periferie patří otočný stůl, jehož deska o rozměrech 700x500 mm nabízí dostatečný prostor pro upnutí obrobku, a který zároveň slouží k jeho přesunutí do pracovního prostoru. Stůl společně s bezpečnostním oplocením vymezuje pracovní prostor robotu, a zaručuje bezpečný provoz tohoto pracoviště. Zvolená metoda upnutí obrobku umožňuje přístup k odjehlení z pěti stran, avšak součást požaduje přístup ze všech stran. Je tedy nutné vrátit součást zpět k obsluze, kde dojde k jejímu otočení a odjehlování může pokračovat dál. Takovýmto pracovním cyklem je nutno postupovat, aby bylo docíleno požadovaného výsledku odjehlení zvoleného obrobku.

Protože nebylo možné získat potřebné informace ohledně požadavku na odjehlování statorového rámu elektromotoru, byl určen potřebný čas na provedení odjehlení pouze odhadem. Z odhadu vyplývá, že potřebný čas na jeden obrobek je 84,6 sekund.



## 16 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce je koncepční návrh robotizovaného pracoviště pro odjehlovací aplikace s průmyslovým robotem KUKA. V teoretické části se práce zabývá vhodnými přípravky a požadavky pro úspěšné odjehlování obrobků pomocí robotu. Objekt, pro který je pracoviště koncipováno je satorová kostra elektromotoru vyráběna z hliníku. Odjehlení toho obrobku znamená zbavit se otřepů a nálitku dělicích rovin, které vznikají při výrobě. Robotizace tohoto úkonu má velký potenciál vzhledem k rostoucí produkci elektromotorů v dnešní době.

Dle popsanych variant možné realizace robotického pracoviště, je vybráno řešení s otočným stolem. Inspirací jsou svařovací robotické buňky, které jsou řešeny takovým to způsobem. Návrh stolu spočíval ve výběru vhodné otočné jednotky, který se bude otáčet ve dvou polohách po 180°. Tato jednotka je osazena dvěma pracovními deskami o rozměrech 500x700 mm, které poskytují dostatečný prostor pro upnutí zvoleného obrobku. Upínání obrobku je řešeno pomocí manuálních upínek, které poskytují dostatečnou upínací sílu pro fixaci obrobku. K odjehlení slouží pneumaticky poháněné vysokootáčkové vřeteno, které je přímo určené pro odjehlovací robotické operace. Vřeteno je upevněno jako koncový efektor a robot s ním provádí zadaný úkol. Pracoviště je vybaveno stojanem, s náhradními nástroji, pro jejich rychlou výměnu v momentě, kdy dojde k jejich otupení, nebo je potřeba zvolit nástroj jiného typu. Do pracoviště jsou zakomponovány bezpečnostními prvky, a to v souladu se zákonnými normami a nařízeními. Oplocení celého pracoviště je z průhledného a odolného plexiskla, aby se zabránilo průniku třísek a prachu ven z pracovního prostoru. Všechny prvky jsou zabudovány na základové desce, ale lze je řešit jako samostatně upevněné k podlaze. Pracoviště je kompaktní a má celkově univerzální charakter a svou povahou je vhodné pro odjehlení i jiných obrobků, než je otestováno.

Výstupem diplomové práce je 3D vizualizace koncepčního řešení pracoviště se zakomponovanými dílčími systémy.



## 17 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 9788021448285.
- [2] Robot pro pětiosé obrábění. MM průmyslové spektrum [online]. MM publishing, 2010 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/robot-pro-petiose-obrabeni.html>
- [3] *Seminář o robotickém obrábění* [online]. 2015, **2015**(11) [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/seminar-o-robotickem-obrabeni.html>
- [4] *Robotické obrábění střešních nosičů* [online]. 2016, **2016** [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/roboticke-obrabeni-stresnich-nosicu\\_35079.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/roboticke-obrabeni-stresnich-nosicu_35079.html)
- [5] AGUILAR, Sergio. Design Considerations for Robotic Welding Cell Safety. In: *Fabricating&metalworking* [online]. 2013 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2013/05/design-considerations-for-robotic-welding-cell-safety/>
- [6] Precision Grinding and Deburring Tools. In: *PM production machining* [online]. 2011 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.productionmachining.com/products/precision-grinding-and-deburring-tools>
- [7] Manual deburring. In: *Manufacturing guide* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/manual-deburring>
- [8] FDB. In: *Schunk* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [http://de.schunk.com/dk\\_en/gripping-systems/series/fdb/](http://de.schunk.com/dk_en/gripping-systems/series/fdb/)
- [9] RYUH, Beom-Sahng a Gordon R. PENNOCK. Industrial robotics: programming, simulation and applications [online]. Mammendorf: Pro-Literatur-Verl, 2007 [cit. 2017-05-24]. ISBN 3866112866. Dostupné z: [https://www.intechopen.com/books/industrial\\_robotics\\_programming\\_simulation\\_and\\_applications/robot\\_automation\\_systems\\_for\\_deburring](https://www.intechopen.com/books/industrial_robotics_programming_simulation_and_applications/robot_automation_systems_for_deburring)
- [10] Automation: Successful robotic deburring is really a matter of choices. *Tooling&Production* [online]. 2007 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [http://www.toolingandproduction.com/features/2007\\_December/1207\\_successful\\_robotic.aspx](http://www.toolingandproduction.com/features/2007_December/1207_successful_robotic.aspx)
- [11] FELIX, Chris. Robotic Deburring Provides Flexible Alternative. *Production machining* [online]. 2006 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.productionmachining.com/articles/robotic-deburring-provides-flexible-alternative>
- [12] SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
- [13] 7 Facts About Tungsten Carbide Burrs and How To Use Them. *Eternal tools* [online]. 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.eternaltools.com/blog/7-facts-about-tungsten-carbide-burs-and-how-to-use-them>
- [14] F-Shape. *Moleroda finishing systems* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.moleroda.com/product/f-shape-tree-radius/>

- [15] SNAP and microSNAP. *HEULE plus* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.heuletool.com/pages/services/default/6>
- [16] GILLESPIE, L. K. *Deburring and edge finishing handbook*. New York: American Society of Mechanical Engineers, 1999. ISBN 978-0872635012.
- [17] *Deburring spindle: Assembly and operating manual* [online]. 2016 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://de.schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0005611.PDF>
- [18] *Sto let elektromotorů z Mohelnice* [online]. 2004, (7) [cit. 2017-05-25]. ISSN 040723. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/sto-let-elektromotoru-z-mohelnice.html>
- [19] *Elektromotry z Mohelnice* [online]. 2016, (3) [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/elektromotory-z-mohelnice.html>
- [20] *WEISS* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.weissna.com/Type-TC.513.0.html>
- [21] *KUKA robotics* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/o-spole%C4%8Dnosti-kuka/struktura-podniku/kuka-robotics>
- [22] Kuka robot KR 16-3. *Turbosquid* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.turbosquid.com/3d-models/kuka-robot-kr-3d-model/942259>
- [23] *Technical data: KR 16* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: [http://roboticturnkeysolutions.com/robots/kuka/datasheet/kr\\_16.pdf](http://roboticturnkeysolutions.com/robots/kuka/datasheet/kr_16.pdf)
- [24] SWS. In: *Schunk* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [https://cz.schunk.com/cz\\_en/gripping-systems/series/sws/](https://cz.schunk.com/cz_en/gripping-systems/series/sws/)
- [25] Safety products: Safety mats. *Liberty electric sales* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.libertyelectricsales.com/products/safety-products.html>
- [26] Wear ear protection. *MSD-Modernsigns digital* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.store.modernsignsdigital.co.uk/wear-ear-protection.html>
- [27] Kolíkové frézy. *RUKO* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.brusivo-nastroje.cz/katalogy/ruko/kolikove-frezy/index.html#/4/zoomed>



## 18 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

### 18.1 Seznam tabulek

TAB 1) MOMENT SETRVAČNOSTI.....	37
TAB 2) VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY UPNUTÍ OBROBKU .....	40
TAB 3) TABULKA ČASOVÝCH HODNOT ODJEHLENÍ OBROBKU PRO ZPŮSOB 1 .....	55
TAB 4) TABULKA ČASOVÝCH HODNOT ODJEHLENÍ OBROBKU PRO ZPŮSOB 2 .....	55

## 18.2 Seznam obrázků

OBR. 1) UKÁZKA ROBOTICKÉ BUŇKY [5].....	18
OBR. 2) ROBOT KUKA KR30 S VYSOKOOTÁČKOVÝM VŘETENEM .....	20
OBR. 3) PNEUMATICKY POHÁNĚNÉ RUČNÍ ODJEHLOVACÍ NÁSTROJE [6] 21	
OBR. 4) PŘÍKLAD POUŽITÍ RUČNÍCH ODJEHLOVACÍCH NÁSTROJŮ [7] 21	
OBR. 5) UKÁZKA FIRMY SCHUNK ODJEHLOVACÍ APLIKACE POMOCÍ PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU. 1 -PNEUMATICKÉ VŘETENO, 2 - PŘIPOJOVACÍ PŘÍRUBA, 3 -UPÍNACÍ PRVEK [8].....	23
OBR. 6) PNEUMATICKY POHÁNĚNÉ VŘETENO. 1- PNEUMATICKÉ VŘETENO; 2- VYVAŽOVACÍ PODDAJNÉ VÁLCE; 3- LOŽISKO; 4,5- PŘÍVODY VZDUCHU [8] .....	24
OBR. 7) PRINCIP AKTIVNÍHO ŘÍZENÍ ODJEHLOVÁNÍ [10].....	25
OBR. 8) SPRÁVNÁ FIXACE OBROBKU [10] .....	26
OBR. 9) PASÍVNÍ SILOVÉ ŘÍZENÍ S AXIÁLNÍ PODDAJNOSTÍ [10].....	26
OBR. 10) AXIÁLNÍ PODDAJNOST VŘETENE [10] .....	27
OBR. 11) RADIÁLNĚ PODDAJNÉ VŘETENO [10].....	27
OBR. 12) ROZDĚLENÍ FRÉZ DLE POČTY ZUBŮ: A) DVOUZUBÉ; B) JEDNOZUBÉ; C) DIAMANTOVÉ [13] .....	28
OBR. 13) TVARY FRÉZ PRO RŮZNÁ POUŽITÍ [14] .....	28
OBR. 14) ODJEHLOVÁNÍ A ZAHLOUBENÍ DĚR PO VRTÁNÍ [15] .....	29
OBR. 15) ODBĚR MATERIÁLU: A) ČÁSTEČNÝ; B) IDEÁLNÍ; C) NADMĚRNÝ .....	29
OBR. 16) PROGRAMOVÁNÍ POMOCÍ MODELOVÉHO KOLÍKU [17] .....	30
OBR. 17) PROGRAMOVÁNÍ POMOCÍ HROTU [17].....	30
OBR. 18) MODEL STATOROVÉ KOSTRY .....	31
OBR. 19) PLOCHY NUTNÉ K ODJEHLENÍ.....	32
OBR. 20) DVA TYPY ROBOTIZOVANÉHO PRACOVISTĚ DLE ZHOTOVENÍ OBROBKU [12].....	33
OBR. 21) SCHÉMA PRACOVISTĚ A.....	34
OBR. 22) SCHÉMA PRACOVISTĚ B.....	34
OBR. 23) SCHÉMA PRACOVISTĚ C.....	35
OBR. 24) SCHÉMA PRACOVISTĚ D.....	36
OBR. 25) OTOČNÁ JEDNOTKY OD FIRMY WEISS [20].....	37
OBR. 26) RÁM STOLU ZE ČTVERCOVÉHO PROFILU A KOMPLETNÍ SESTAVA .....	38
OBR. 27) STACIONÁRNÍ UPÍNACÍ ČELISTI SE ZOBRAZENÍM UPNUTÍ OBROBKU .....	39

<b>OBR. 28) ZLEVA FIXAČNÍ KOLÍKY, DÁLE MANUÁLNÍ A PNEUMATICKÁ UPÍNKA .....</b>	<b>40</b>
<b>OBR. 29) UPNUTÍ OBROBKU NA STOLE (VLEVO). DETAIL (VPRAVO).....</b>	<b>41</b>
<b>OBR. 30) KONCEPČNÍ NÁVRH UPÍNACÍ SOUSTAVY. UPÍNACÍ DESKA JE VYBAVENA ČTYŘMI HROTOVÝMI KOLÍKY PRO ARETACI A ČTYŘMI UPÍNKAMI PRO FIXACI.....</b>	<b>41</b>
<b>OBR. 31) ČASOVÁ OSA HISTORIE FIRMY KUKA [21].....</b>	<b>43</b>
<b>OBR. 32) ROBOT KUKA KR 16 [22].....</b>	<b>44</b>
<b>OBR. 33) DOSAŽITELNÝ ROZSAH ROBOTU KR 16 V PROSTORU [23].....</b>	<b>44</b>
<b>OBR. 34) VŘETENO FDB – 660 [8] .....</b>	<b>45</b>
<b>OBR. 35) KOLÍKOVÁ FRÉZA TYPU A, A KOLÍKOVÁ FRÉZA TYPU H [27] .</b>	<b>45</b>
<b>OBR. 36) PNEUMATICKÝ SYSTÉM PRO RYCHLOU VÝMĚNU NÁSTROJŮ. 1- ADAPTER; 2 – PŘÍRUBA NA STRANĚ ROBOTU; 3, 7- EL. MODUL PRO PŘENOS SIGNÁLU; 4 – ZAMYKACÍ MECHANISMUS; 5- ZAMYKACÍ PRSTENEC; 6- PŘÍRUBA NA STRANĚ ROBOTU. [24] .....</b>	<b>46</b>
<b>OBR. 37) NÁVRH STOJANU S NÁHRADNÍMI VŘETENY PRO RYCHLOU VÝMĚNU NÁSTROJŮ .....</b>	<b>46</b>
<b>OBR. 38) MADLO S TRANSPONDÉROVÝM SPÍNAČEM FIRMY EUCHNER</b>	<b>47</b>
<b>OBR. 39) STOP TLAČÍTKO NOUZOVÉHO ZASTAVENÍ (SICK) .....</b>	<b>48</b>
<b>OBR. 40) BEZPEČNOSTNÍ TLAKOVÁ DESKA [25].....</b>	<b>48</b>
<b>OBR. 41) POŽADAVEK NA OCHRANNÉ POMŮCKY PROTI HLUKU [26] .....</b>	<b>49</b>
<b>OBR. 42) PRACOVNÍ OBLASTI ROBOTICKÉHO PRACOVÍŠTĚ .....</b>	<b>50</b>
<b>OBR. 43) PŘÍSTUP OBROBKU ZE STRANY PRŮZORU STOLU .....</b>	<b>51</b>
<b>OBR. 44) PŘÍSTUP Z PŘEDNÍ STRANY .....</b>	<b>52</b>
<b>OBR. 45) PŘÍSTUP Z PRAVÉ STRANY .....</b>	<b>52</b>
<b>OBR. 46) PŘÍSTUP Z LEVÉ STRANY.....</b>	<b>53</b>
<b>OBR. 47) PŘÍSTUP K VÝMĚNĚ NÁSTROJŮ .....</b>	<b>53</b>
<b>OBR. 48) ROBOTICKÉ PRACOVÍŠTĚ. IZOMETRICKÝ POHLED .....</b>	<b>57</b>
<b>OBR. 49) ROBOTICKÉ PRACOVÍŠTĚ. POHLED ZPRAVA .....</b>	<b>57</b>
<b>OBR. 50) ROBOTICKÉ PRACOVÍŠTĚ. 1- ROBOT; 2- VŘETENO; 3- ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA; 4- OBROBEK; 5- OPLOCENÍ; 6- OBSLUHA; 7- SIGNÁLNÍ VĚŽ; 8- STOJAN PRO VÝMĚNU NÁSTROJŮ; 9- ZÁKLAD PRACOVÍŠTĚ; 11- OTOČNÝ PRACOVNÍ STŮL-; 12- TLAKOVÁ BEZPEČNOSTNÍ DESKA. ....</b>	<b>58</b>

### 18.3 Seznam použitých symbolů

$J$	$[\text{kg.m}^2]$	Moment setrvačnosti
$J_{\text{max}}$	$[\text{kg.m}^2]$	Maximální moment setrvačnosti
$t_{\text{min}}$	$[\text{s}]$	Čas minimální
$t_{\text{AS}}$	$[\text{s}]$	Strojní čas
$L_c$	$[\text{mm}]$	Dráha nástroje
$v_f$	$[\text{mm/min}]$	Rychlost posuvu

## 19 SEZNAM PŘÍLOH

Robotické_pracoviště_3D	[pdf]
Robotické_pracoviště_2D	[pdf]
Robotic_deburring_workcell	[step]